

**TOMOGRFÍA SÍSMICA LOCAL EN EL SECTOR  
SUR DEL BLOQUE CHOCÓ (COLOMBIA)**

**CRISTIAN GIOVANNY REINA GUTIERREZ**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS  
PROGRAMA ACADÉMICO DE FÍSICA  
2017**

**TOMOGRFÍA SÍSMICA LOCAL EN EL SECTOR  
SUR DEL BLOQUE CHOCÓ (COLOMBIA)**

**CRISTIAN GIOVANNY REINA GUTIERREZ**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Físico

Director  
**ELKIN DE JESUS SALCEDO.**  
**Ph. D.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS  
PROGRAMA ACADÉMICO DE FÍSICA  
SANTIAGO DE CALI  
2017**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS  
PROGRAMA ACADÉMICO DE FÍSICA**

**CRISTIAN GIOVANNY REINA GUTIERREZ**

**TOMOGRFÍA SÍSMICA LOCAL EN LA ZONA  
SISMOACTIVA DE NUQUÍ, COLOMBIA**

Tema y palabras claves

- Inversión sismológica no lineal.
- Ondas sísmicas P y S.
- Modelo de velocidad sismológica.
- Estructura de corteza y manto superior.



UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ACTA DE EVALUACIÓN DE TRABAJO DE GRADO  
PROGRAMA ACADÉMICO DE FÍSICA.

JURADO CONFORMADO POR:

1. DR. ELKIN DE JESÚS SALCEDO HURTADO
2. DR. ORLANDO ZUÑIGA

El día 21 de Septiembre de 2017 a las 10:00 A.M se llevó a cabo la ENTREGA DE LA EVALUACIÓN ( ) SUSTENTACIÓN (X) del INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADO titulado: "TOMOGRAFIA SÍSMICA LOCAL (LED) EN EL SECTOR SUR DEL BLOQUE CHOCÓ (COLOMBIA)". Presentado por el estudiante CRISTIAN GIOVANNY REINA GUTIERREZ, código 200842903 bajo la dirección del Dr. ELKIN DE JESÚS SALCEDO HURTADO.

Candidato a Grado para la ceremonia de:

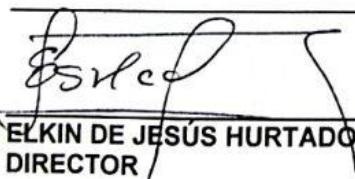
RESULTADO DE LA EVALUACIÓN:

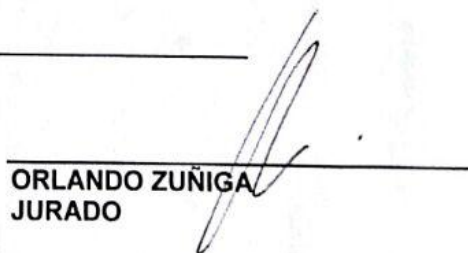
- ☒ APROBADO.  
☐ RECOMENDACIÓN DE DISTINCIÓN DE MERITORIO.  
☐ RECOMENDACIÓN DE DISTINCIÓN DE LAUREADO.  
☐ REPROBADO.

Se recomienda modificaciones: SI ( ) NO ( ).

OBSERVACIONES

---

  
ELKIN DE JESÚS HURTADO  
DIRECTOR

  
ORLANDO ZUÑIGA  
JURADO

  
ESPERANZA TORIJANO  
DIRECTORA PROGRAMA



**A DIOS Y A MI FAMILIA.....**

## Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Dios por darme discernimiento, fuerza y sabiduría para continuar batallando. A mi familia por el apoyo brindado. Particularmente quiero agradecer a mi tía Nohora, mi tía Ruby y a la señora María de Jesús Rosero por su gran apoyo a lo largo de mi formación académica y por supuesto Инна por su compañía durante todos estos años.

Mis más sinceros agradecimientos al Profesor Elkin de Jesús Salcedo Ph.D, Director del Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano (OSSO), por recibirme en el Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano, por proponerme el tema de trabajo de grado y el permitirme trabajar bajo su dirección, por su disposición y amistad, sino además por sus sugerencias y consejos brindados a lo largo de este trabajo, que me han permitido sumergir en el maravilloso mundo de la Geofísica.

Al profesor Hugo Monsalve Jaramillo Msc, Director del Observatorio Sismológico de la Universidad del Quindío (OSQ), por su confianza y disposición, por su amistad al recibirme con los brazos abiertos en la Universidad del Quindío, además por su optimismo y humor, por sus aportes, consejos y ayuda en la ejecución de mi trabajo de grado, por incentivar me hacia la iluminación de la tectónica del territorio colombiano.

Extiendo mi agradecimiento por su valiosa colaboración:

A los integrantes del Observatorio Sismológico de la Universidad del Quindío (OSQ) por su hospitalidad, por su amabilidad y colaboración. Especialmente a los ingenieros Juan Carlos Zorrilla por su apoyo y asesoramiento en el desarrollo del proyecto.

A los integrantes del Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano (OSSO), de la Universidad del Valle por su apoyo en el suministro de información a lo largo de mi trabajo de grado especialmente a Danny Cucuñame y Nisley Zuñiga.

Al Servicio Geológico Colombiano (SGC), particularmente a la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) por el suministro de información esencial para el desarrollo de este trabajo.

A los Profesores de la Universidad del Valle, a quienes les debo fundamentalmente mi formación académica.

## Resumen

El presente estudio permite relocalizar con el programa SEISAN, un catálogo de 1044 eventos sísmicos suministrado por la Red Sismológica Nacional de Colombia entre los años 1993 y 2016, con  $RMS \leq 0,1$  segundos,  $GAP \leq 250^\circ$  y errores Hipocentrales  $\leq 15$  km, para el sector sur del Bloque Chocó y en general sobre el cuadrante definido por:  $(3,9^\circ-6^\circ)$  Latitud N y  $(76,4^\circ-78,5^\circ)$  Longitud W. A partir de este catálogo relocalizado con 959 eventos sísmicos, se ha implementado el método de inversión simultánea no linealizada de tiempos de arribos de onda P con el programa VELEST, mediante el cual ha sido posible determinar el mínimo modelo 1D de velocidad promedio de onda “P”, evaluando 53 modelos de entrada. Este modelo, mejor se adapta a los sismos invertidos, a la rutina diaria de localización, a las condiciones tectónicas sobre el cuadrante de estudio y como modelo inicial para tomografías sísmicas 3D. Los resultados indican la profundidad de Mohorovičić a los 30 km de profundidad y una primera capa de bajas velocidades que demuestran presencia de material no consolidado.

Equivalentemente a través de la inversión simultánea con 398 eventos sísmicos, se ha realizado la tomografía sísmica 3D con el programa SIMULPS14, con la cual se ha obtenido un modelo de velocidad de onda “P” 3D para el cuadrante de estudio. Este modelo brinda información acerca de la compleja distribución de la velocidad con la profundidad de la corteza y manto superior. Dentro de los resultados se evidencian especialmente contrastes de velocidad “Vp” que han sido correlacionados por un lado con los sistemas de fallas Garrapatas y San-Juan en los primeros 30 km de profundidad y los contrastes de velocidad entre los 40 km a 70 km de profundidad, hacia las coordenadas  $-77,4^\circ$  y  $5,4^\circ$ , al posible límite y cambio de buzamiento de los segmentos Cauca-Bucaramanga subduciendo y posiblemente relacionado con el trade-off donde cesa el vulcanismo.

**Palabras Claves:** Modelo de velocidades, Inversión de tiempos de viaje, localización, tomografía sísmica.

## Tabla de Contenido

1.	Introducción .....	1
2.	Problema de Investigación .....	3
2.1	Formulación del Problema .....	3
2.2	Justificación .....	7
2.3	Objetivos y Alcances .....	8
2.3.1	Objetivo General .....	8
2.3.2	Objetivos Específicos .....	8
2.3.3	Alcances y Limitaciones .....	8
2.4	Antecedentes .....	9
3.	Geología y Marco Tectónico .....	13
3.1	Localización del Área Estudio .....	13
3.2	Marco Geológico Regional .....	14
3.3	Límites Tectonoestratigráficos .....	16
3.3	Marco Tectónico .....	17
3.4	Fuentes Sismogénicas .....	20
4.	Marco Teórico .....	22
4.1	Teoría Básica De Tomografía Sísmica Local .....	22
4.2	Separación de Parámetros Hipocentrales y Modelo de Velocidad .....	28
4.3	Problema Inverso .....	28
4.4	Localización de Sismos con Múltiples Estaciones .....	31
4.5	Programa SEISAN .....	32
4.6	Programa VELEST (Modelo 1-D) .....	33
4.7	Programa SIMULPS14 (Modelo 3-D) .....	36
4.8	Matrix Resolución .....	37
5.	Metodología y Procesamiento de Datos .....	39
5.1	Instrumentación .....	39
5.2	Relocalización de eventos sísmicos .....	41
5.3	Diagrama Wadatti .....	45
5.4	Base de Datos .....	47
6.	Resultados .....	51
6.1	Modelo de Velocidades .....	51
6.2	Determinación del modelo 1D .....	52

6.3 Inversión unidimensional .....	52
6.4 Modelo Final 1D .....	61
6.5 Validación del modelo 1D (comprobación de resultados) .....	63
6.6 Correcciones por estaciones .....	67
6.7 Determinación del Modelo de Velocidades 3D.....	70
6.8 Construcción de la malla .....	73
6.9 Matriz Resolución.....	75
6.10 Interpretación de anomalías de velocidad.....	77
7. Discusión.....	84
7.1 Modelo 1D.....	84
7.2 Modelo 3D.....	85
8. Conclusiones .....	88
9. Referencias.....	90

## Listas de Figuras

Figura 2. 1 Mapa de amenaza sísmica de Colombia, donde se considera todo el suroccidente del país con una alta amenaza (Fuente: Tomado del Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10). .....	4
Figura 2. 2 Localización del área de estudio, incluido la zona sismoactiva de Nuquí y el Sector sur del Bloque Chocó. (Fuente: Elaboración propia). .....	5
Figura 2. 3 La imagen ilustra la relación entre el problema inverso y directo a partir del estudio de las diferentes disciplinas teóricas y experimentales en sismología (imagen tomada y modificada de NMSOP de IASPEI, 2009). .....	10
Figura 3. 1 Localización del área de estudio sobre el Sector sur del Bloque Chocó. (Fuente: Elaboración propia) .....	13
Figura 3. 2 Se presenta las unidades Geomorfológicas, geotectónicas y geológicas del Bloque Chocó. El recuadro enmarca el área de estudio en la zona sismo activa de Nuquí. (Fuente: Elaboración propia con datos del SGC) .....	14
Figura 3. 3 Disposición tectónica de la esquina Noroccidental de Suramérica, en la cual se muestra los límites de convergencia principalmente de la placa Nazca y su convergencia hacia la placa Sudamérica representada por medio de los vectores desplazamiento. Los círculos rojos son las estaciones GPS. Imagen tomada de (Monsalve y Mora, 2005) .....	18
Figura 4. 1 Ejemplo de Sismograma, donde se observan y pican los tiempos de arribo de las ondas “P” y “S”. asociado al picado del arribo de la ondas P y S del sismo del 10 de junio de 2016 registrado en la estación de Yotoco - Valle del Cauca (Fuente: Imagen tomada del programa SEISAN). .....	24
Figura 4. 2 El problema inverso acoplado hipocentro- modelo de velocidad para un solo rayo: $z$ , profundidad; $V_n$ , la velocidad de la $n$ capa; $P_0$ , el hipocentro ( $t_0, x_0, y_0, z_0$ ); $\Delta r_0$ , ajuste hipocentral. (Tomada de (kissling, 1988)). .....	26
Figura 4. 3 Ejemplo de un proceso de iteración de una inversión simultánea, para un parámetro de amortiguamiento fijo “ $\lambda$ ”, en el que se obtiene diferentes mínimos locales RMS dependiendo del paso de iteración. (Imagen tomada de (Kissling et al. 1995)) .....	34
Figura 4. 4 Diagrama de flujo para el proceso de inversión simultanea de hipocentros- modelo de velocidad del programa VELEST, donde se parte de datos observados y calculados (problema directo) y se realiza posteriormente el proceso de inversión mientras se minimiza el error RMS. (Imagen Tomada de (Torres, 2012)) .....	35
Figura 5 1 Distribución de 67 estaciones sismológicas de la RSNC y demás observatorios, utilizadas en el proceso de relocalización, incluyendo 42 estaciones (triángulos rojos) que corresponden a las utilizadas en la inversiones 1D y 3D. (Fuente: Elaboración propia) .....	40
Figura 5 2 Modelo de velocidad 1D para localización sismos de la RSNC y el OSSO (Observatorio sismológico del Sur Occidente Colombiano) para todo el territorio Colombiano. ..	42
Figura 5 3 Mapa de localización de 1044 eventos sísmicos obtenidos de la RSNC entre el mes de Junio de 1993 hasta el mes de Junio de 2016. ....	43
Figura 5 4 Mapa de 1044 eventos sísmicos relocalizado entre el mes de Junio de 1993 hasta el mes de Junio de 2016. ....	44
Figura 5 5 Modelo de velocidad General Quindío utilizado para la relocalización de la base de	

datos del catálogo de 1044 eventos sísmicos. ....	45
Figura 5 6 Diagrama de Wadatti; datos depurados de diferencias de tiempos de arribo de la onda “S” a la estación i-esima menos tiempo de arribo de la onda “S” a la estación de referencia (Yotoco) (eje Y). Análogamente para la onda “P” (eje X) y su relación $T_{Si}-T_{So}= 1,758 (T_{Pi}-T_{Po})$ . ....	47
Figura 5 7 (a-f) Gráfica por rangos de la distribución azimutal (Gap), el RMS residual, los errores hipocentrales (ERH, ERZ) y la distribución en profundidad de los 959 eventos sísmicos seleccionados para el proceso de inversión en el presente trabajo. ....	50
Figura 6. 1 (a-f) Gráficas de algunos modelos obtenidos de velocidad 1D en el presente trabajo, en comparación con algunos modelos representativos de entrada de otras inversiones. ....	56
Figura 6. 2 Mejores 8 modelos de velocidad (rojo) en la inversión simultánea, obtenidos en el presente trabajo y comparados con los modelos de entrada (azul) propuestos inicialmente. ....	59
Figura 6. 3 Graficas de los 7 mejores modelos de velocidad de onda P comparados con el mejor modelo obtenido “NUQUÍ” (negro). ....	62
Figura 6. 4 Gráfica del modelo final 1D de velocidad “Vp” (NUQUÍ) hallado para el presente trabajo. ....	62
Figura 6. 5 Proceso de iteración de la inversión simultánea para el mejor modelo de velocidad seleccionado “NUQUÍ” del RMS en función de las 99 iteraciones. ....	63
Figura 6. 6 Graficas de 3 modelos de velocidad invertidos y localizados previamente con el modelo (Ojeda y Havskov, 2001). Las líneas rojas, negras y amarillas corresponden a los modelos finales con respecto a los modelos de entrada que corresponden a los colores verde, azul y verde oscuro respectivamente. ....	64
Figura 6. 7 Sismos relocados con el modelo General Quindío comparados con la relocación del modelo NUQUÍ finalmente obtenido (el radio de los círculos representa el error horizontal). ....	65
Figura 6. 8 (a-d) Diferencias entre los sismos localizados con el modelo General Quindío y el modelo final obtenido Nuquí en el presente trabajo. ....	66
Figura 6. 9 Curvas de correcciones por estación (retrasos de arribos); los triángulos azules corresponden a las localizaciones de las estaciones, el color rojo representa las zonas de baja velocidad y el color azul representa los valores de alta velocidad. ....	69
Figura 6. 10 Curvas de las correcciones por estación en el cuadrante de estudio. Los triángulos azules corresponden a las estaciones, el color rojo representa los mayores residuales y el color azul a los menores residuales. ....	70
Figura 6. 11 Proyección de los 2178 rayos de la fuente a la estación utilizados en el proceso de inversión 3D en este trabajo. ....	72
Figura 6. 12 Curva del balance de las varianzas del modelo respecto a las varianzas de los datos para la selección del óptimo amortiguamiento (punto rojo) $\xi = 20$ . Los puntos azules corresponden a otros valores de amortiguamiento. ....	74
Figura 6. 13 (a-j) Elementos diagonales de la matriz de resolución para la inversión 3D en la región de estudio, Se ilustran 8 planos en planta con profundidades de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 km. Los tonos blanco y gris señalan la alta y baja resolución respectivamente para la región de estudio. Los triángulos rojos señalan las estaciones sismológicas dentro del área de estudio. La malla está representada por las cruces regularmente espaciadas. ....	77
Figura 6. 14 (a-j) Porcentajes de cambio de velocidad de la onda P (contrastes de velocidad) respecto al modelo inicial 1D producto de la inversión 3D. Se ilustran 10 planos a profundidades 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 km, en los gráficos a,b,c,d,e, f, g, h, i, j respectivamente.	

Los tonos azules y rojos hacen referencia a zonas de anomalías de alta y baja velocidad respectivamente respecto a la velocidad promedio de la región de estudio. Los triángulos rojos representan la localización de las estaciones sismológicas.....	81
Figura 6. 15 (a-c))Secciones transversales en la dirección N-S y en la dirección E-W asociados a anomalías de velocidad. a) Corresponde al perfil A-B, dirección N-S (longitud -77.4), en las profundidades 20, 30, 40, 50 y 70 km. b) Corresponde al perfil C-D, dirección E-W (latitud 5,3°), en las profundidades 20, 30, 40, 50 y 70 km. c) Corresponde al perfil E-F, dirección E-W (latitud 4.6° ), en las profundidades 20, 30, 40, 50 y 70 km. Los contornos de los intervalos están cada 0.1 km/s. La malla está representada por las cruces regularmente espaciadas. ....	83
Figura 7 1 Contrastes de velocidad obtenidos para la corteza, los cuales son contrastados con las fallas de Bahía Solano y falla Garrapatas.....	86
Figura 7 2 Tomogramas de inversión conjunta con datos sismológicos y gravimétricos realizados por (Syracusea et al, 2016) en la que se evidencia contrastes de velocidad hacia 5,4° de Latitud y -77,4° de Longitud W. De izquierda a derecha para una misma profundidad, se muestran tomogramas de ondas de cuerpo, datos gravimétricos, combinación de ondas de cuerpos con ondas superficiales, combinación de ondas de cuerpo con gravimetría y finalmente combinación de ondas de cuerpo con ondas superficiales y gravimetría. Fuente: Imagen tomada y modificada de (Syracusea et al, 2016) .....	87



## Listas de Tablas

Tabla 5 1 Modelo de velocidad 1D para localización sismos de la RSNC y el OSSO (Observatorio sismológico del Sur Occidente Colombiano) para todo el territorio Colombiano..	41
Tabla 5 2 Modelo de velocidad General Quindío utilizado para la relocalización de la base de datos del catálogo de 1044 eventos sísmicos. ....	45
Tabla 5 3 Parámetros fijados para la selección de 102 sismos con la mejor calidad para la construcción del Diagrama Wadatti. ....	46
Tabla 5 4 Parámetros fijados para la selección de 959 sismos utilizados en la inversión para el presente trabajo; el RMS residual de los tiempos de arribo, la distribución azimutal (Gap), los errores hipocentrales y el número de estaciones(NTS) respectivamente. ....	48
Tabla 6 1 Parámetros de amortiguamiento para el tiempo de arribo (OTHET), los parámetros hipocentrales (STATHET) y los parámetros de velocidad (VTHET), establecidos previamente para el proceso de inversión simultánea en cada modelo. ....	53
Tabla 6 2 Información de Calificación propuesta en el programa HYPO71 para evaluación de las soluciones en la localización. (Fuente: HYPO71; Lee and Lahr, 1972). ....	59
Tabla 6 3 Modelos de velocidad 1D, utilizados en el proceso de inversión simultánea con sus respectivo RMS finalmente obtenido y una base de sismos depurada con cubrimiento azimutal ( $\text{Gap} \leq 230^\circ$ ). ....	60
Tabla 6 4 Modelo final 1D de velocidad “Vp” (NUQUÍ) hallado para el presente trabajo. El modelo final está definido por el promedio de RMS más bajo. ....	63
Tabla 6 5 Retardos finales de las estaciones utilizadas en el proceso de inversión 1D con el mejor modelo obtenido. ....	68
Tabla 6 6 Distribución de la velocidad para el modelo de entrada 3D en función de la profundidad. ....	73
Tabla 6 7 Comparación de los RMS de las inversiones conjuntas con el modelo 1D y 3D obtenidos en el presente trabajo. ....	75
Tabla 6 8 Rango de Matriz de Resolución obtenido con el modelo 3D.....	75

## 1. Introducción

Para explorar y comprender la estructura interna de la tierra se han desarrollado desde tiempos remotos, diferentes técnicas y procedimientos experimentales que van desde experiencias directas, como estudios geológicos, a técnicas geofísicas indirectas como la prospección sísmica, generalmente para la búsqueda de fuentes minerales y energéticas. A pesar, de los métodos directos y de exploración minera llevados a cabo alrededor del planeta, estos escasamente permiten muestrear más de 10 Km de profundidad, lo que representa grandes limitaciones si se compara con todo el espesor promedio de la corteza (30 Km) y radio terrestre (6370 Km). Por consiguiente, cuando se desea indagar la composición interna de la tierra a profundidades no asequibles por el hombre, se recurre a la sismología haciendo uso de los tiempos de arribo de ondas sísmicas generadas naturalmente por terremotos al interior de la tierra y registradas por estaciones sismológicas en la superficie, que junto con otro tipo de herramientas, métodos de inversión y técnica computacionales se infiere su estructura interna.

Esta técnica es conocida como Tomografía Sísmica, la cual permite generar imágenes de secciones planas o tomogramas de la corteza, manto y núcleo, generando modelos de velocidad de ondas sísmicas 1D y 3D que iluminan la distribución de la velocidad y su estructura en función de la profundidad, coherente con la mayoría de datos procedentes de las observaciones. Los modelos de velocidad obtenidos son esenciales para obtener localizaciones de eventos sísmicos y muchas veces dan respuesta a la geodinámica de un área de estudio, en la cual se puede determinar fuentes sismogénicas, rasgos tectónicos y geológicos como son por ejemplo los procesos de subducción, el fallamiento y cámaras magmáticas en volcanes, que para Colombia juegan un papel importante.

El Sector sur del Bloque Chocó; Colombia, al hacer parte de la esquina Noroccidental de Sudamérica y el estar ubicado sobre un segmento de franja tectónica sobre la zona de subducción de la placa Nazca- Suramérica, cerca de la trinchera Colombo - Ecuatoriana, lo convierte en uno de los lugares con la mayor complejidad geológica y tectónica del país. En consecuencia esta zona posee un alto y desencadenado cuadro de sismicidad superficial e intermedia, que ha situado la región entre las más sísmicas activas del país. Lo anterior implica que la localización hipocentral y la determinación de su estructura interna de velocidad se tornen más complejas.

Por consiguiente la presente investigación estudia el medio por el cual viajan las ondas sísmicas, realizando una Tomografía Sísmica Local (LED) sobre esta zona, con el propósito de obtener modelos de estructura de velocidad 1D y 3D de onda “P” de la corteza y manto superior, que iluminen y aclaren la distribución de la velocidad y sus heterogeneidades, esenciales para la confiable localización hipocentral de eventos sísmicos y hacia un mayor entendimiento de los procesos tectónicos en esta zona.

De esta forma el trabajo se estructura en 9 capítulos de la siguiente forma: Introducción, Problema de Investigación, Geología y Marco Tectónico, Marco Teórico, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones y Referencias.

## **2. Problema de Investigación**

### **2.1 Formulación del Problema**

La región Pacífica Colombiana, comprendida por los departamentos de Nariño, Cauca, Valle del Cauca y Chocó, está caracterizada en comparación con otras regiones del país, en poseer un alto cuadro de sismicidad y en consecuencia ser una de las regiones con mayor peligrosidad sísmica, con alto riesgo de ocurrencia de catástrofes naturales (Checa, Meyer, Velásquez, 2001). Los sismos históricos más violentos en Colombia han ocurrido principalmente a lo largo de la costa Pacífica colombiana (OSSO, 1889). La Figura 2.1, muestra el mapa actualizado de la amenaza sísmica para Colombia, donde se aprecia los altos valores hacia el Occidente Colombiano. Esto es debido a complicados procesos geológicos y tectónicos de subducción, donde converge la placa Nazca (oceánica) bajo la placa Suramérica (continental), además del proceso de subducción entre la placa Caribe bajo la placa Sudamérica (Pennington, 1981; Monsalve, 1998; Taboada, 2000). Estos procesos tectónicos, a lo largo de muchos años, han causado la formación de microplacas, como el “bloque Norandino” que corresponde al área en general donde se ubica la región pacífica, y un gran sistema de fallas que se extienden a lo largo de la misma (Checa et al, 2001). Estas interacciones presentan un estado de esfuerzos comprensivos que causan el movimiento de microplacas como el Bloque Panamá-Chocó y un escenario de eventos sísmicos superficiales, intermedios y profundos relacionados con los límites de los bloques y la colisión de placas respectivamente (Vargas, 2003).

El Norte del Valle, Chocó y sus zonas oceánicas contiguas, son las que presentan una mayor actividad sísmica y sus inmediaciones se caracterizan por poseer una elevada heterogeneidad en los parámetros que determinan el comportamiento y viaje de las ondas sísmicas a través de los estratos de la corteza terrestre, lo cual implica que el estudio de estos parámetros se tornen más complejos, como por ejemplo la localización hipocentral y la determinación de su estructura interna de velocidad (Checa y Meyer, 2004).

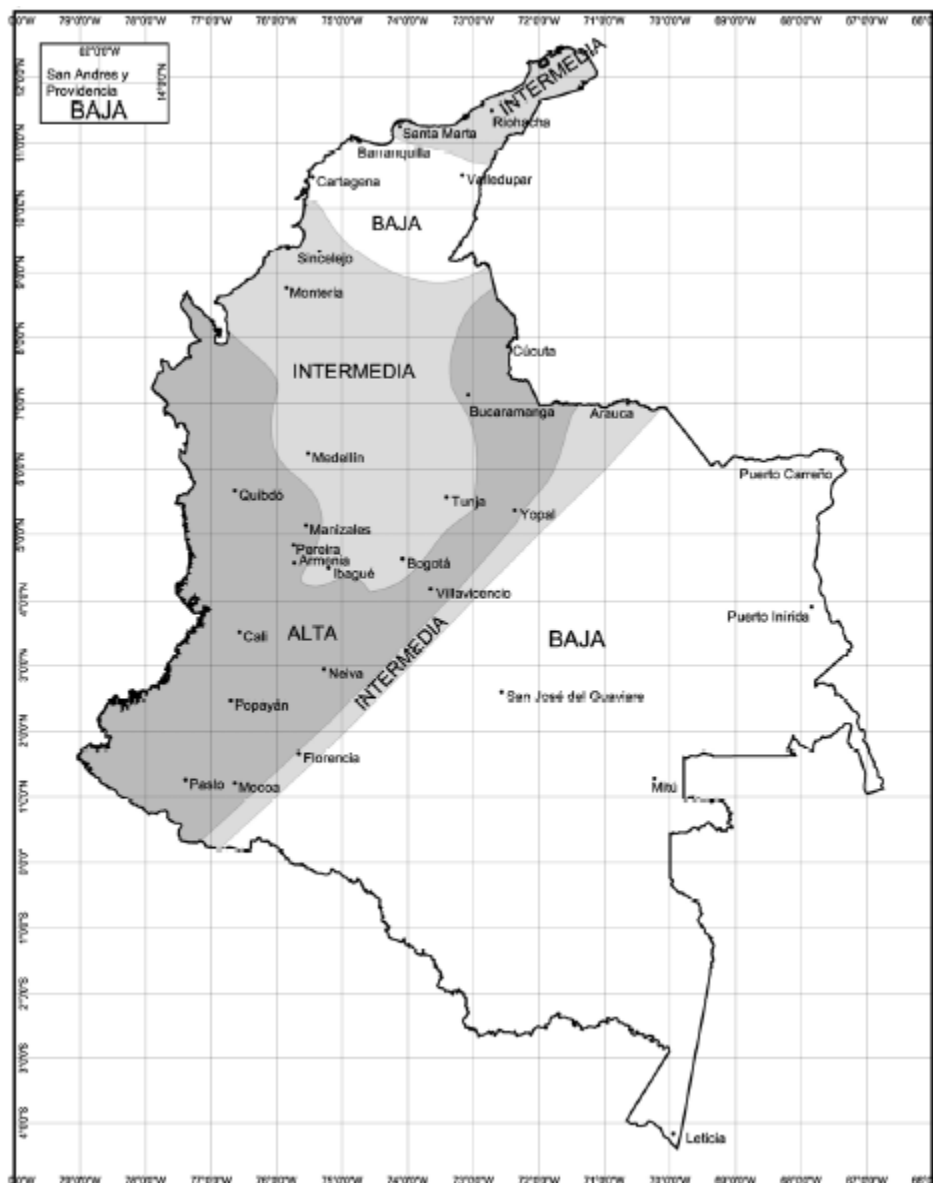
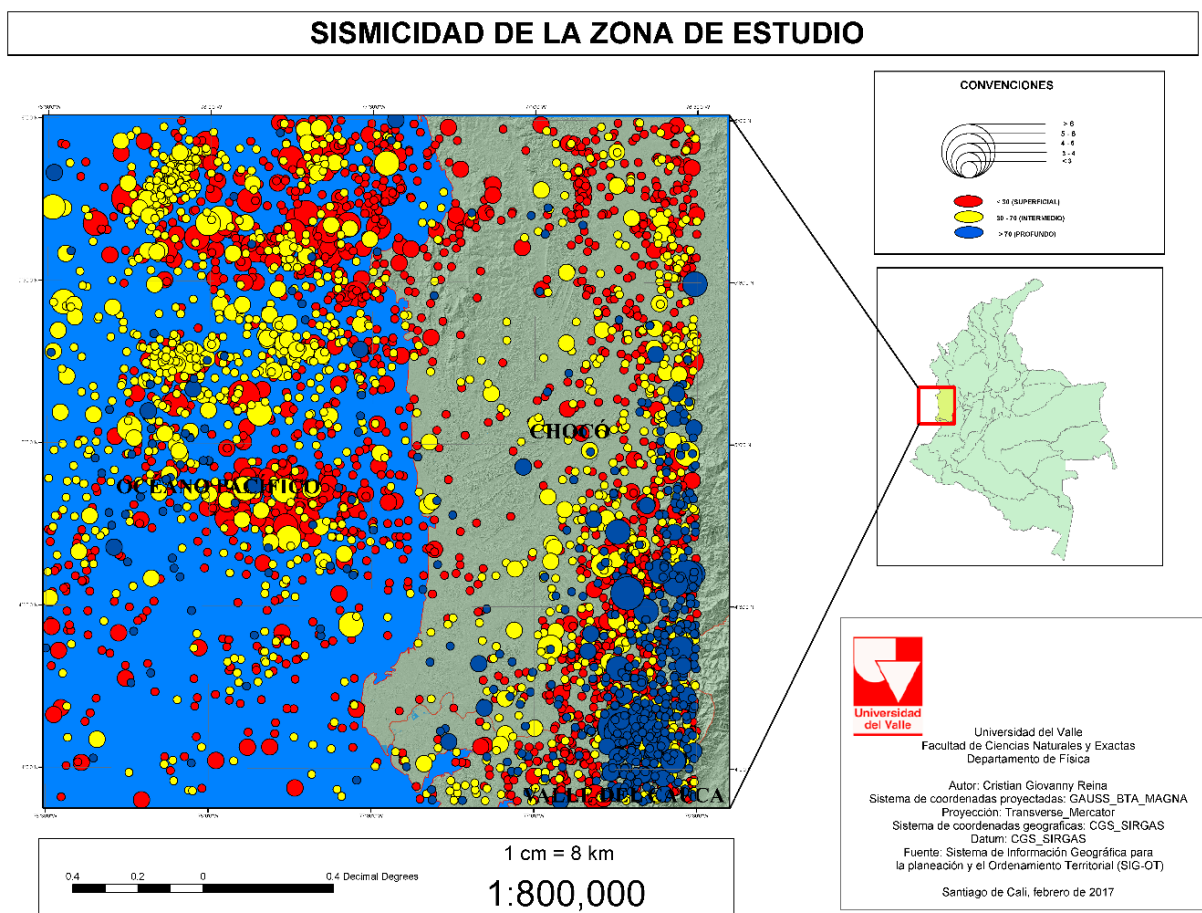


Figura 2. 1 Mapa de amenaza sísmica de Colombia, donde se considera todo el suroccidente del país con una alta amenaza (Fuente: Tomado del Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10).

El departamento del Chocó, al estar ubicado sobre un segmento de franja tectónica sobre la zona de subducción de la placa Nazca- Suramérica, se convierte en uno de los lugares con mayor dinámica geológica y tectónica del país, en el cual se revelan, por lo menos, tres tipos de fuentes generadoras de eventos sísmicos; la zona de Subducción, la zona de Benioff y las fallas intracontinentales (OSSO, 1989). Como consecuencia de estas fuentes generadoras, un alto y desencadenado cuadro de sismicidad superficial e intermedia ha tenido lugar, que ha situado la región entre las más sismo activas del país, que sumado a su relieve y clima, forma un complejo sistema geofísico, con un alto riesgo de ocurrencia de catástrofes naturales como deslizamiento, inundaciones, tsunamis y terremotos de gran magnitud como los ocurridos en los años 1991, 2004

y 2013 (OSSO, 2013) (Arcila, 2010). Particularmente en el Sector Sur del Bloque Chocó se ha identificado una zona con una alta sismicidad superficial e intermedia, que se le ha denominado la zona sismoactiva de Nuquí. Esta área y sus alrededores, en lo que concierne al sector sur del Bloque Chocó, es donde se ha focalizado el presente estudio, concretamente sobre el cuadrante con latitudes 3.9° a 6° y longitudes -76.4° a -78.5° ver Figura 2.2.



*Figura 2. 2 Localización del área de estudio, incluido la zona sismoactiva de Nuquí y el Sector sur del Bloque Chocó. (Fuente: Elaboración propia).*

A pesar de existir estudios generales sobre las características tectónicas, geomorfológicas y dinámicas de placas a nivel regional y global, todavía son escasos los estudios e investigaciones focalizados a la comprensión geofísica de la zona sismoactiva de Nuquí y en general del Sector Sur del Bloque Chocó. Por tanto, es indispensable ampliar el estado actual del arte, realizando nuevos estudios que permitan mejorar los modelos geofísicos como los de estructura de velocidad, esenciales para la determinación y localización hipocentral de eventos sísmicos en el pacífico colombiano y otros parámetros físicos, que permitan un mayor entendimiento de los procesos tectónicos y las causas por las cuales se está presentando un alto cuadro de actividad sísmica.

Elemento propicio para la estimación de la amenaza y la consiguiente formulación de medidas de prevención y mitigación del riesgo sísmico.

Por consiguiente para conocer la estructura de velocidad de la corteza y manto superior en esta zona, la presente investigación se enfoca al estudio del medio por el cual viajan las ondas sísmicas a través de una Tomografía Sísmica Local (LED) en el Sector Sur del Bloque Chocó. De esta forma se realiza una inversión de datos experimentales de tiempos de primeros arribos de ondas “P” de eventos sísmicos locales, tomados de la Red Sísmica Nacional de Colombia (RSNC), con el propósito de obtener un modelo mejorado de distribución de velocidades 1D y 3D y así caracterizar los estratos que determinan las propiedades del subsuelo, por tal razón para el presente trabajo se formulan los siguientes interrogantes:

- ¿Qué procesos dinámicos presenta esta región que ha causado tan elevado cuadro de actividad sísmica?
- ¿Cómo se constituye la estructura de velocidad de onda sísmica “P” y sus anomalías en esta zona?

Estas son las preguntas que esta investigación tratará de dilucidar.

## 2.2 Justificación

La esquina Noroccidental de Sudamérica, especialmente Colombia, al hacer parte del Cinturón de Fuego del Pacífico y poseer una compleja evolución tectónica, la convierte en una de las regiones sísmicas más activas del planeta. Debido a esto, observatorios sismológicos como la Red Sísmica Nacional de Colombia (RSNC), el Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (OSSO) y el Observatorio Sismológico del Quindío (OSQ), mantienen un monitoreo constante, por medio de la sismicidad instrumental almacenada en sus bases de datos, lo cual permite a investigadores e instituciones realizar estudios geofísicos, que busquen e incentiven iluminar y aclarar la estructura interna y la geodinámica en la región Pacífica colombiana.

A pesar que algunos estudios han dado luz sobre la tectónica acerca del proceso de subducción Nazca – Sudamérica, el conocimiento del espesor de la corteza, la estructura de velocidad y sus heterogeneidades, sobre todo en la zona sísmo activa de Nuquí en el Bloque Chocó, son todavía escasos. Así por ejemplo (Duque, 1990) afirma que el Bloque Chocó es un terreno exótico sin ninguna afinidad con Sur América, acrecido al continente (cordillera Occidental) durante el mioceno medio. Lo anterior implica que se tengan que buscar nuevos modelos particulares de velocidad y en general de corteza, que permitan mejorar la localización de sismos y caracterizar la corteza en esta zona, ya que muchos modelos de velocidad están pobremente limitados a pocos resultados de sísmica de refracción o suposiciones tectónicas. De esta forma la implementación de tomografías sísmicas regionales a gran escala sobre todo el territorio colombiano y en ocasiones con su no muy buena resolución, ha dado paso a modelos regionales específicos de velocidad, a partir de modelos generales. En la medida que los estudios en la corteza terrestre se focalicen en áreas más pequeñas, se permitirá encontrar modelos de velocidad de las ondas de cuerpo P y S que a su vez permitan mejorar la localización de sismos a nivel local y generar un catálogo de eventos sísmicos actualizado, idóneo para futuros estudios.

Por consiguiente una Tomografía Sísmica Local (LED) en la zona sísmoactiva de Nuquí permitirá avanzar en el conocimiento de la estructura de corteza y manto superior, y además obtener un modelo de estructura de velocidad 1D y 3D, esencial en la localización confiable de eventos sísmicos y la correlación de parámetros geofísicos con la tectónica de la zona sobre fuentes sísmogénicas. Lo anterior podrá derivar en futuros estudios que permitan la estimación de la amenaza sísmica y la consiguiente formulación de medidas de prevención y mitigación del riesgo sísmico en una región tan desconocida como el Chocó, carente de recursos y con una elevada amenaza sísmica. En síntesis todo esfuerzo encaminado a iluminar y descifrar la estructura de velocidad en la corteza y litosfera y al conocimiento con buena calidad de los parámetros geofísicos, podrá derivar en una mejor comprensión de la geodinámica en la zona y la cuantificación del riesgo sísmico.



## 2.3 Objetivos y Alcances

### 2.3.1 Objetivo General

Realizar un modelo de tomografía sísmica local en el Sector Sur del Bloque Chocó (Colombia) mediante la inversión de tiempos de arribo de ondas sísmicas registradas por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC).

### 2.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener un modelo de velocidad 1D de onda “P” de la estructura interna a través de información previa de estudios geofísicos y geológicos, mediante una inversión tomográfica local, obteniendo el modelo con menor error residual.
- Obtener un modelo de velocidad 3D de estructura interna, a partir de tiempos de arribos de ondas sísmicas P.
- Contrastar los modelos anteriormente obtenidos con estudios geotectónicos, geológicos y en general estudios geofísicos realizados en la zona.

### 2.3.3 Alcances y Limitaciones

**Limitaciones:** El cuadrante de estudio se enmarca entre las Latitudes  $3.9^{\circ}$  N -  $6^{\circ}$  N y las Longitudes  $76.4^{\circ}$  W -  $78.5^{\circ}$  W. Se utiliza una red de estaciones de Corto periodo, banda ancha y acelerógrafos de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) y de otros observatorios, junto a un catálogo de eventos sísmicos desde el mes de septiembre de 1993 hasta el mes de mayo del 2016.

**Alcances:** Un catálogo de eventos sísmicos actualizados para la zona de estudio. Un Modelo cortical de velocidad 1D y 3D que permita mejorar localización de los eventos sísmicos sobre el cuadrante de estudio. Contribuir en el conocimiento de la estructura interna de la zona central del Pacífico Colombiano.

## 2.4 Antecedentes

La necesidad de los investigadores poder estudiar fenómenos en las diferentes ramas de la ciencia, de forma no invasiva en la mayoría de los casos, dio origen a lo que se conoce hoy como problema inverso y teoría inversa, que es un conjunto de métodos numéricos y técnicas matemáticas, mediante la cual, a partir de datos experimentales se pretende extraer información de un objeto de estudio, de tal forma que permita reconstruir un modelo que determine su propia estructura o propiedad interna sin destruirla (Menke, 1984; Snieder and Trampert, s.f). Por el contrario, el problema directo permite a partir de un modelo conocido o teoría, determinar previamente un conjunto de datos que pueden ser contrastados posteriormente con la realidad. La teoría de inversión desarrollada principalmente por (Backus and Gilbert, 1967; Crosson, 1976) según (Kissling, 1988), junto con los problemas de inversión a partir de densos conjuntos de datos experimentales y el desarrollo computacional en la década de los años 70, jugaron un papel crucial en distintas ramas del conocimiento y se convirtieron en una herramienta poderosa que permitió el desarrollo e implementación de diferentes técnicas como la tomografía sísmica en el estudio detallado de la estructura de velocidad de la litosfera, que se desarrolló simultáneamente con la tomografía médica, además de construcción de potenciales cuánticos, determinación de estructuras internas de materiales, prospección acústica y electromagnética en geofísica y en general reconstrucción de estructuras y propiedades internas de objetos de estudio.

En el campo de la sismología, el problema inverso junto con el problema directo han sido de gran importancia desde sus inicios, porque ha permitido correlacionar diferentes disciplinas a nivel teórico y experimental como el estudio de la fuente sísmica, la propagación de ondas a través de la Tierra, el medio por el cual viajan las ondas sísmicas, los mecanismos Focales, el análisis Señal-Ruido, el procesamiento de datos, riesgo sísmico entre otras ramas ver (Figura 2.3). En particular, sobre el estudio del medio por el cual viajan las ondas sísmicas, la sismología ha dilucidado la estructura del interior de la tierra con una exactitud no lograda por otros métodos geofísicos existentes, mediante datos obtenidos y registrados desde la superficie por estaciones sísmicas y sismológicas. Para el estudio de la estructura del interior de la tierra se han desarrollado diferentes técnicas de las cuales se destaca la prospección sísmica ( $\geq 10$  km en profundidad) para la búsqueda de fuentes minerales y energéticas, la tomografía de reflexión, tomografía de refracción, tomografía de atenuación y Tomografía Sísmica Local (LED), Regional (TSR) y Telesísmica (ACH). Estas últimas tres tomografías obtuvieron para principios de los años ochenta, imágenes de secciones planas de estratos del interior de la corteza terrestre, logrando obtener un mayor entendimiento de los procesos tectónicos dentro de la misma.

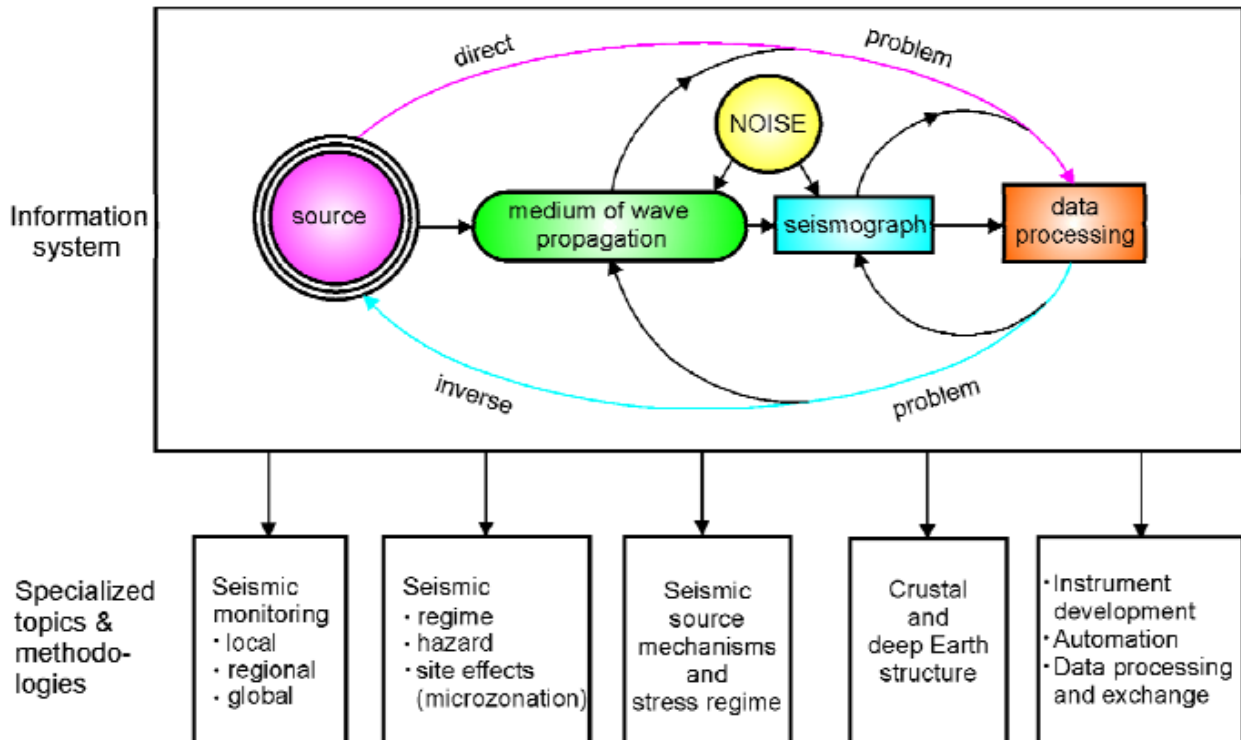


Figura 2. 3 La imagen ilustra la relación entre el problema inverso y directo a partir del estudio de las diferentes disciplinas teóricas y experimentales en sismología (imagen tomada y modificada de NMSOP de IASPEI, 2009)

La Tomografía sísmica Local (LED), que es la técnica que se estudia e implementa en este trabajo, ha sido objeto de estudio y aplicación durante las últimas décadas alrededor del planeta para conocer las variaciones laterales y en profundidad de la velocidad en la corteza y manto superior. Los primeros trabajos se remiten a (Herglotz, 1907; Wiechert, 1907 citado por Snieder and Trampert, s.f) quienes construyeron modelos sismológicos de velocidad del interior de la tierra, que dependían solamente y monótonamente con la profundidad, a partir de tiempos de arribo utilizando la transformada de Abel. Posteriormente, con el desarrollo de la teoría de inversión y el cálculo computacional (Aki and Lee, 1976 citado en Kissling, 1988) realizaron tomografías telesísmicas para el estudio de la estructura de la litósfera 3D en Scandinavia, utilizando tiempos de viaje de ondas telesísmicas conocido como el método ACH.

A pesar que los trabajos anteriores han permitido mostrar la compleja corteza continental en muchos lugares, (Kissling, 1988) afirma que la tomografía telesísmica está limitada solo a grandes estructuras, por lo que en pequeñas estructuras, la componente vertical y horizontal superior de la velocidad de onda "P" en la litosfera, carece de buena resolución. Ante esta dificultad, posteriormente se desarrolla la Tomografía Sísmica Local (LED), la cual ilumina mejor las variaciones laterales y en profundidad de la velocidad de onda "P", logrando encontrar anomalías o contrastes de alta o baja velocidad para algunas zonas mucho más pequeñas, que pueden ser correlacionadas con la actividad tectónica y volcánica del lugar. En áreas de alta actividad sísmica,

la parte superior de la corteza puede ser iluminada con LED por rayos en cualquier dirección detectados con estaciones ubicadas a conveniencia.

La tomografía sísmica local sigue de forma similar el método de la tomografía telesísmica, con algunas variaciones principalmente en la formulación del problema inverso, en la que se invierte la localización de sismos simultáneamente con el campo de velocidad. Este acoplamiento de dos problemas inversos es la principal diferencia con respecto a la tomografía telesísmica (Kissling, 1988). Las primeras inversiones desarrolladas e implementadas con LED se remiten a (Thurber, 1983; Phillips, 1989) para la modelación de pequeñas zonas en la corteza con alta actividad sísmica y compleja estructura interna 3D de velocidad, a partir de algoritmos trazadores de rayos e.g. el estudio en la zona del sismo de Coyote Lake 1979, con la implementación de programas como SIMULPS14 desarrollados por (Thurber, 1983).

Más tarde (Kissling, 1988), a partir de los métodos desarrollados previamente por Aki y Thurber, realiza trabajos de LED en Long Valley y Yellowstone California donde obtiene modelos de velocidad y anomalías de velocidad, las cuales relaciona con cámaras magmáticas. Posteriormente (Kissling et al, 1994) proponen el mínimo modelo promedio 1D de velocidad por capas plano paralelas, a partir de ondas sísmicas, criterios de geología local superficial y perfiles sísmicos disponibles, la cual deriva finalmente en un modelo 1D con el mínimo error en el proceso de inversión con el programa VELEST, que puede ser finalmente utilizado en las rutinas de localización en las estaciones sismológicas, además como modelos de entrada para tomografías sísmicas locales 3D. Igualmente y no menos importante, se encuentran los trabajos y métodos desarrollado por (Zhao, 1994, citado por Londoño, Bohorquez y Ospina, 2010), los cuales permiten utilizar tiempos de arribo de ondas “P” y “S”, modelo de velocidad de ondas sísmicas 1D, ondas reflejadas para sismos locales, regionales y telesísmicos para obtener finalmente un modelo de estructura de velocidad 3D.

Dentro de los primeros estudios realizados en Colombia, más ambiciosos y de gran relevancia, se encuentra las investigaciones sismo-tectónicas y oceanográficas que tuvo lugar entre los años de 1973 y 1978 conocidas como Proyecto Nariño I, II y III, con el cual a partir de estudios de perfiles sísmicos de refracción, magnéticos y geológicos, se trató de iluminar la estructura interna de placas oceánica y continental, principalmente bajo la región Pacífica Colombiana (Instituto Geofísico - Universidad Javeriana, 1981). Dentro de los trabajos más destacados a partir de esta investigación se encuentra los de (Mooney et al, 1981; Flüh et al, 1978), los cuales concluyen encontrar estructura de alta velocidad sísmica en la corteza superior, propias de materiales oceánicos, como afirma (Duque, 1990). Por otro lado, con respecto a la tomografía sísmica se encuentra el trabajo de (Taboada et al, 2000 citado en Londoño et al, 2010), quien utiliza estudios previos de estratigrafía, datos de sismos de la RSNC entre 1993 y 1996 y datos del ISC (International Seismological Center) para realizar tomografía en la Cordillera Oriental y proponer un modelo que sugiere la existencia de una zona de cizalla transformante. (Franco y Ojeda, 2001; Ojeda y Havskov, 2001) mediante inversión de tiempo de viaje de ondas P con el programa

VELEST y sismogramas sintéticos, determinan un modelo 1D de velocidad como mejora a la localización de Sismos de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC). (Vargas, 2003; Vargas et al., 2003) realizan una tomografía sísmica local en el territorio colombiano donde propone un modelo 1D y 3D de velocidad de onda “P”, en la cual reafirman la presencia de una estructura de subducción en algunas regiones de Colombia, entre estas el entrelapamiento de la placa Caribe sobre la placa Nazca. Asimismo, encuentran franjas de baja velocidad que recorre el Occidente de Colombia interrumpidas por anomalías de alta velocidad hacia la latitud 4°N y demás franjas de baja velocidad que recorren las Cordilleras Central y Oriental. La técnica utilizada sigue la propuesta de inversión simultánea propuesta por (Thurber, 1983; Kissling et al, 1994).

Para el Nor -Oriente de Colombia se realiza una tomografía sísmica 3D en el año 2010 en el Nido de Bucaramanga, con datos sísmicos locales y regionales, usando ondas de arribo “P” y “S”, donde encuentran una zona de anomalía entre 80 km y 140 km de profundidad, profundizándose hacia el Oeste, causada por la subducción de la placa Caribe con la placa Sudamérica (Londoño et al., 2010). (Vargas y Monsalve., 2009) realizan la inversión simultánea para hipocentros y estructura de velocidad 3D de onda “P” a partir del método de (Thurber, 1983) y (Kissling et al, 1994), alrededor del área del terremoto de Armenia del 25 de enero de 1999, en la cual obtienen modelos de velocidad 1D y 3D de onda P, donde se encuentran algunas anomalías de alta y baja velocidad. (Torres, 2012) realiza una tomografía sísmica al Volcán Galeras con los métodos de (Thurber, 1983; Kissling et al, 1994), en la cual propone un modelo de estructura tridimensional de velocidades de onda P hasta unos 8 km de profundidad desde la cima del volcán, en la que se encuentra dos zonas de baja y alta velocidad. (Flórez y Osorio, 2010) construye un modelo general de velocidad 1D para la región del eje cafetero con LED, a partir de tiempos de arribo de ondas P de 1327 eventos sísmicos bien localizados y empleando el método de inversión no linealizada por medio del programa VELEST (Kissling et al, 1994).

Los últimos trabajos realizados se remiten a (Muñoz, Vargas y Chicangana., 2015) en la cual construyen un modelo de velocidad 3D para el pie de monte llanero colombiano, a partir de la inversión simultánea de tiempo de viajes de onda “P” y “S”. Finalmente, (Syracuse et al., 2016) realizan una inversión conjunta de tiempo de arribo de ondas de cuerpo, ondas superficiales y datos de gravimetría simultáneamente, para la mayoría del territorio colombiano, en la que se obtienen modelos de velocidad  $V_p$  y  $V_s$  a través de imágenes, en la que se pretende iluminar el tectonismo bajo Colombia.



### 3.2 Marco Geológico Regional

El Bloque del Chocó, está localizado en el departamento del Chocó dentro de la zona de convergencia entre América Central y las placas del Caribe y Nazca. Comprende las regiones panameñas y colombianas al oriente de la zona del canal de Panamá hasta el noroccidente colombiano, desde los flancos noroccidentales de la cordillera Occidental por encima de los 4° de Latitud norte, y está caracterizado por tres unidades lito-estratigráficas y geomorfológicas diferentes que han sido clasificados como provincias geológicas (ver Figura 3.3) que constituyen la espina dorsal de esta región: Los sistemas montañosos arqueados y paralelos, las serranías de San Blas – Darién, sobre el margen caribeño que se unen a los flancos noroccidentales de la cordillera Occidental y las serranías de Majé – Baudó sobre el margen pacífico, las cuencas de Atrato – Chucunaque- San Juan y la zona deformada de Istmina (Duque, 1990).

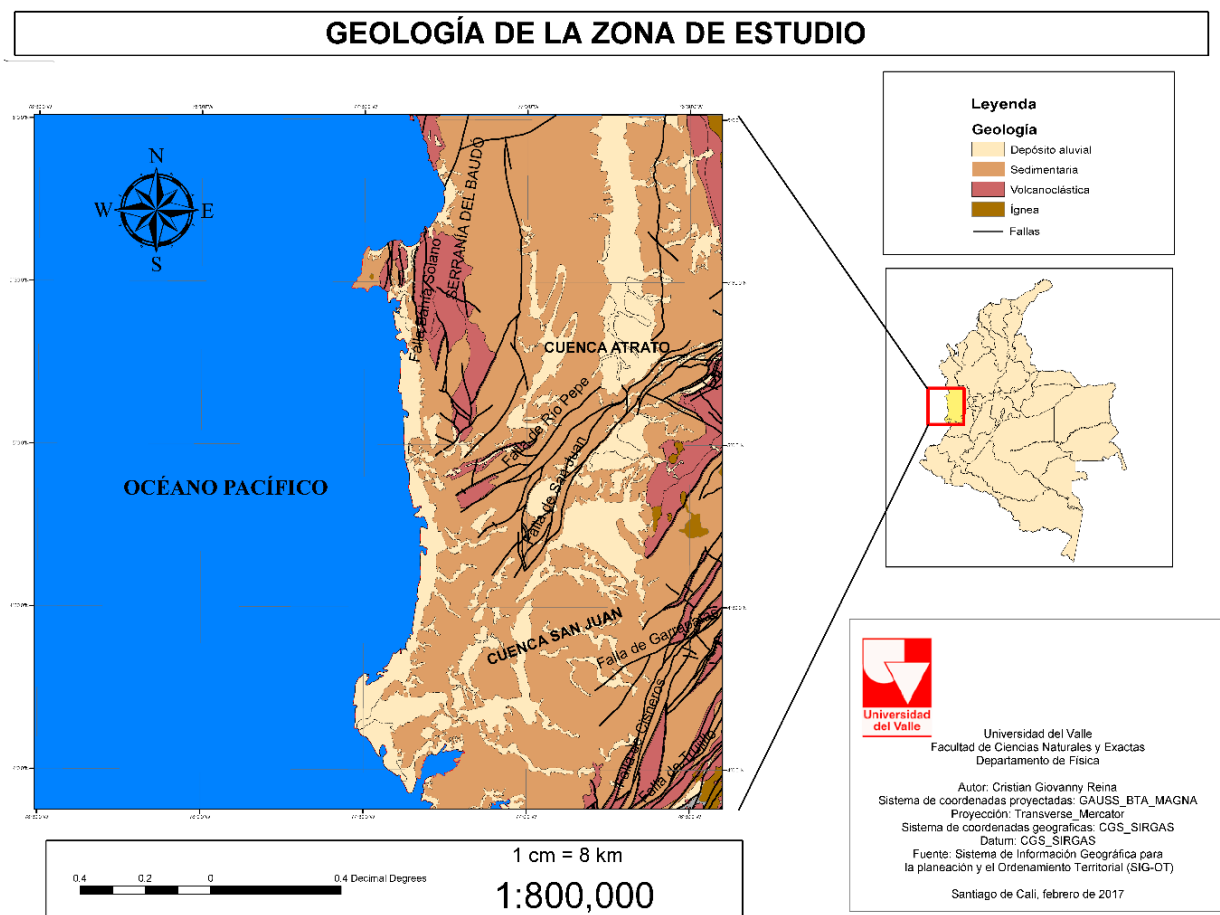


Figura 3. 2 Se presenta las unidades Geomorfológicas, geotectónicas y geológicas del Bloque Chocó. El recuadro enmarca el área de estudio en la zona sismo activa de Nuquí. (Fuente: Elaboración propia con datos del SGC)

**Arco de Dabeiba:** Corresponde a la región de forma arqueada que limita orientalmente el Bloque Chocó, el cual incluye las serranías de San Blas- Darién, la cual presenta similitudes desde Panamá hasta los flancos noroccidentales de la cordillera Occidental. Contiene estratos pelágicos, hemipelágicos, foraminíferos planctónicos y turbídicos que concurren con basaltos, diabasas intercaladas entre edades cretácicas superior a plioceno e incluso mioceno. Además, es caracterizada por anomalías gravimétricas positivas (Duque, 1990).

**Arco de Baudó:** Delimita el margen occidental del Bloque del Chocó y comprende las serranías del Majé – Baudó. Se caracteriza por anomalías gravimétricas positivas, aparentemente predominan las rocas ígneas junto con plutones granitoides, rocas sedimentarias de edad cretácica superior a mioceno, con un origen principalmente oceánicos, asociadas a basaltos y diabasas. (Duque, 1990) (Bedoya et al, 2009).

**Cuencas del Atrato- San Juan:** Es una topografía llana y pantanosa entre los sistemas montañosos del Darién y Baudó. Son dos estructuras sinclinales alargadas que conforman el segundo elemento estructural del Bloque Chocó y que corresponden en general al Geosinclinal Bolívar que agrupa parte del norte de Ecuador y la cuenca del Chucunaque en Panamá. Contiene similares características a otras cuencas pacíficas del Sur- Centro Americano. La Cuenca Atrato contiene una secuencia sedimentaria espesa de origen fluvial y lacustre de hasta aproximadamente 10 km, depositada sobre un basamento ígneo-sedimentario en ambientes predominantemente marinos, de acuerdo con la fauna reportada, pero con una influencia marcada de ambientes transicionales o continentales durante su desarrollo geológico más reciente (ANH, 2011; Duque, 1990; Bedoya et al, 2009). Estas cuencas se caracterizan además por anomalías gravimétricas negativas i.e crecientes hacia el sur a lo largo del Valle del Atrato. Los análisis de laboratorio y registros sísmicos en pozos que han llegado en hasta 4500 m (Duque, 1990), muestran la existencia, por lo menos en el área de la cuenca del Atrato, de dos secuencias superimpuestas muy diferentes, una secuencia superior aflorante y coherente generalmente de lodolitas con facies pelágicas y hemipelágicas oligocénicas a miocénicas con reflexiones sísmicas coherentes y por otro lado una secuencia infrayacente e incoherente, sin expresión superficial, en la cual es común la mezcla de sedimentos y microfauna miocénicas medias con otras edades más antiguas y reflexiones incoherentes (Duque, 1990).

**Zona deformada de Istmina:** Delimita el sur del Bloque Chocó y se caracteriza por colinas bajas, las cuales tienen una dirección N60°E que se extiende 320 km, desde los flancos de la cordillera Occidental hasta la cuenca de Panamá. Esta a su vez divide la cuenca del Atrato y la cuenca del San Juan y contiene rocas sedimentarias estratificadas muy deformadas del mioceno medio a más edad. Igualmente se caracteriza por anomalías gravimétricas negativas lo cual indica el gran espesor de sedimentos. Los registros sísmicos entre los 4° y 5° N hacia el Nor- Occidente de Buenaventura contienen intrusiones diapíricas (Duque, 1990) (Bedoya et al, 2009).



### 3.3 Límites Tectonoestratigráficos

Dentro del Bloque Chocó se han reconocido varias zonas de fallas que lo delimitan y lo caracterizan:

**Falla de Uramita:** El límite oriental del arco de Dabeiba corresponde a una gran zona de falla, la cual se evidencia a través del contacto fallado entre las características melange del arco de Dabeiba y las turbiditas del grupo cañas gordas de la cordillera Occidental y por el contraste de anomalías gravimétricas. La ocurrencia exótica de los foramaníferos paleocenos, junto con la naturaleza tectónica del límite oriental del arco de Dabeiba, sugieren que el lineamiento de Uramita es el contacto entre el arco de Dabeiba de afinidad centroamericana y el noroccidente sudamericano (Duque, 1990).

**Falla del Atrato:** Propuesta y tomada como uno de los grandes límites estructurales del Noroccidente colombiano en los márgenes occidentales del arco de Dabeiba por varios autores, a través de la cual se contrasta la topografía y gravimetría entre los flancos abruptos orientales del arco de Dabeiba (anomalías gravimétricas positivas) y la topografía llana de la Cuenca del Atrato (anomalías gravimétricas negativas). A lo largo de esta falla hacen contacto los basaltos columnares con los estratos pelágicos y hemipelágicos del oligoceno a mioceno inferior de las secuencias sedimentarias de la cuenca del atrato (Duque, 1990).

**Falla de Baudó:** Corresponde a una zona fallada sobre el flanco oriental de la serranía del Baudó, en la cual se identifican contrastes gravimétricos, litológicos y topográficos abruptos entre las colinas pendientes y rugosas del majé Baudó y la topografía baja y llana de la cuenca del Atrato- Chucunaque. Este límite adicionalmente contiene pliegues de echelon que afectan los estratos oligocénicos a miocénicos medios (Duque, 1990).

**Falla Bahía Solano o Utría:** Es una falla inversa de bajo ángulo que se extiende a lo largo de la costa del Pacífico de Colombia, con una zona de brecha que sobrepasa los 5 km de anchura en algunos sitios y su longitud es de aproximadamente 290.6 km (París et al., 2000). El terremoto a principios de 1970 con magnitud de 6,5 y a una profundidad de 8 km muy posiblemente se debió a la actividad de esta falla (Page, 1986).

**Falla Garrapatas:** es una falla que se ha postulado según el alineamiento fuerte. Su rumbo es N 35 E y se extiende por unos 75 km desde las tierras bajas de San Juan hasta el nordeste del Cairo. La falla separa la serranía de Los Paraguas de la cordillera Occidental (Page, 1986).

### 3.3 Marco Tectónico

La Tectónica estudia la cinemática y las fuerzas que originan la estructura de la corteza terrestre. En esta medida, enmarcar la zona de estudio dentro del concepto global de sismotectónica es imprescindible, puesto que, permite conocer y contrastar con el presente estudio, las principales fuentes sismogénicas como lo son los límites de convergencia de placas, el fenómeno de subducción y los sistemas de fallas.

Como se cita en (Monsalve, Lomnitz y Pacheco, 1999) el fracturamiento de la placa Farallón hace 30 m.a (Oligoceno tardío) dio lugar al esparcimiento de las placas Cocos-Nazca. El estudio realizado por (Hey, 1977), y los estudios de anomalías magnéticas y batimétricas de (Klitgord and Mammerickx, 1982; Atwater, 1989), reflejan el registro histórico de esta tectónica, que se originó a partir del punto caliente de galápagos (Johnson and Lowrie, 1972). Esta separación ha originado, en la esquina Noroeste de Sudamérica, un complejo ambiente geológico y tectónico convergente y divergente, causado por la interacción de las placas Cocos (placa oceánica), Nazca (placa oceánica), Sudamericana (placa continental) y Caribe (placa oceánica), además de bloques tectónicos como el Bloque de los Andes y el Bloque Panamá- Chocó, este último comprimido en dirección oeste-este (Pennington, 1981).

Uno de los más importantes procesos tectónicos que ha tenido lugar en la esquina Noroeste de Suramérica y que ha configurado y determinado principalmente las características geomorfológicas actuales del Bloque Norandino en Colombia, es el proceso de subducción Nazca-Sudamérica a lo largo de la trinchera Colombo-Ecuatoriana. En esta zona la placa oceánica de Nazca se mueve hacia el Este, a lo largo del bloque de Panamá por medio de una falla de tipo transcurrente (DeMets et al., 1994 citado en Monsalve, Lomnitz, y Pacheco, 1999), y subduce más adelante bajo la litósfera de la placa Suramericana con una tasa de convergencia aproximadamente entre 50 mm a 80 mm por año (Kellogg y Vega, 1995; Pennington, 1981), generando la fractura de la zona de Panamá, la Cuenca de Panamá, la Trinchera Colombo-Ecuatoriana, el arco deformado de Panamá, el arco de compresión del Caribe en la costa Norte Colombiana y la zona de convergencia de la placa Suramericana con el actual sistema Andino de Sudamérica (Pennington, 1981). Todos estos fenómenos tectónicos en su conjunto afectan principalmente la zona Andina y Pacífica Colombiana, y son los causantes de una alta tasa de sismicidad, un relieve irregular y una actividad volcánica.

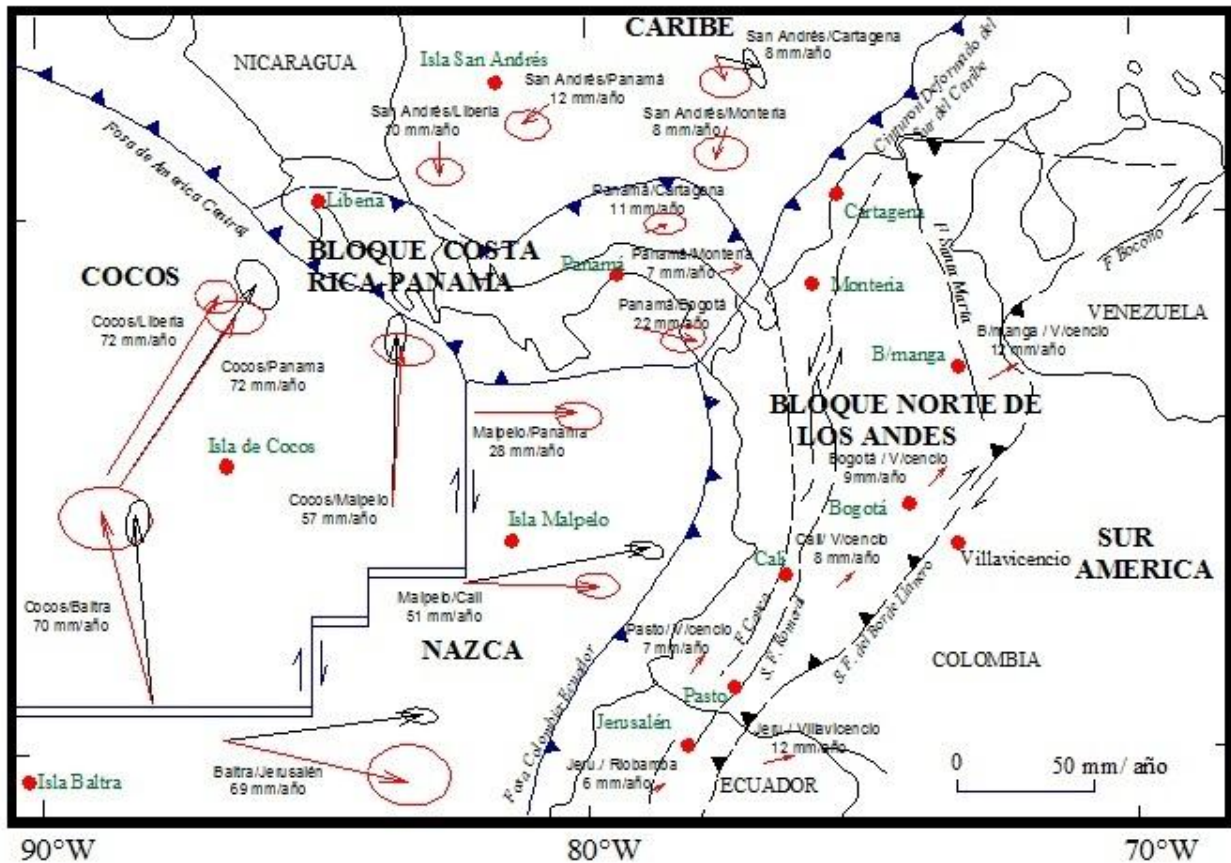


Figura 3. 3 Disposición tectónica de la esquina Noroccidental de Suramérica, en la cual se muestra los límites de convergencia principalmente de la placa Nazca y su convergencia hacia la placa Sudamérica representada por medio de los vectores desplazamiento. Los círculos rojos son las estaciones GPS. Imagen tomada de (Monsalve y Mora, 2005)

Con el propósito de estudiar el movimiento y la deformación en la corteza en Centro América y la esquina noroeste de Sudamérica, (Kellogg and Vega, 1995; Mora, 1995 citado en Monsalve y Mora, 2005) entre otros investigadores, midieron geodésicamente con GPS los desplazamientos de las placas y su convergencia con respecto a las demás, a partir de estaciones ubicadas en distintos países y compilando datos previos a 1995. Estos trabajos han permitido entender de una mejor forma la actividad tectónica y las deformaciones interplaca en este lugar. Así por ejemplo, la Figura 3.2 esquematiza la disposición tectónica de la esquina Noroccidental de Sudamérica y en sus desplazamientos, se observa el límite de convergencia de las diferentes placas tectónicas. En esta se considera la Placa de Nazca desplazandose hacia Nor-Este con una velocidad de convergencia promedio entre 50 y 60 mm/año, presentando esta última dos límites de convergencia. La primera limitada en el norte, por una falla de tipo transcurrente con respecto al Bloque de Panamá y hacia el este, limitada por la Trinchera Colombo- Ecuatoriana. Igualmente, la imagen permite apreciar los arcos de compresión, a partir de los vectores relativos de desplazamiento encontrados, producto de la subducción de las placas Nazca y Caribe, junto con tres grandes fallamientos superficiales; la falla del piedemonte llanero, la falla de Romeral y la falla Cauca-Patía presentes sobre, y en

límites con el Bloque Andino (Mora, 1995 citado en Monsalve y Mora).

La convergencia de la placa Caribe al Norte de Suramérica, la cual ha colisionado de forma oblicua con la esquina noroeste del continente, ha sido el resultado de la acomodación de la placa de Nazca con este sector del continente, luego de un cambio en la tasa de expansión de la triple junta de Galápagos en el Pacífico oriental (Pedraza, 2006; Pedraza et al, 2007). Con este cambio en la expansión de la triple junta que genera al Noroeste la placa Cocos y al Noreste la placa Nazca, el Bloque Costa Rica – Panamá – Chocó, emergió y se acrecionó junto con la Placa Caribe al norte entre las placas de Norteamérica y Suramérica, esto produjo que la placa Nazca subduciera entre el Este de Panamá y el Occidente de Colombia tal como lo observamos hoy en día (Chicangana, 2004 citado en Pedraza et al, 2007; Pennington, 1981).

A pesar de los estudios realizados, todavía no se tiene clarificado completamente el panorama tectónico en esta zona. Así por ejemplo, estudios previos como (Pennington, 1981) asegura no existir una única junta triple que separe las placas de Cocos, Nazca y Caribe y por lo tanto afirma ser una zona no bien definida. Otro tipo de estudios se han llevado a cabo tanto en tierra como en mar (Proyecto Nariño I, II, III; Pennington, 1981; Duque, 1990; Escalante, 1990; Mann and Corrigan, 1990; Kellogg y Vega, 1995; Vargas et al, 2003; Syracuse et al, 2016), para dilucidar el panorama tectónico y geológico, relacionado especialmente por la presencia de la junta triple Nazca-Suramérica y Caribe que se ha presentado los últimos 5 m. a. Controvertidos debates se han generado, con el propósito de establecer la geometría de la junta triple entre estas placas, la geometría de subducción, la estructura cortical, la geometría de la cordillera Occidental de Colombia-Ecuador, la localización de la sutura de Panamá y los movimientos relativos de las placas.

Con respecto al proceso de subducción Nazca-Sudamérica y su geometría, varios autores han propuesto diferentes ángulos de buzamiento y rumbo. Así por ejemplo, (Santó, 1969, citado en Monsalve, 1998) plantea que bajo el Norte colombiano el buzamiento de la zona de Benioff es hacia el sur mientras que (Dewey, 1972 citado en Monsalve, 1998) afirma que de existir esta zona de Benioff, está con rumbo N-S y buza hacia el este. (Pennington, 1981) con el propósito de establecer la geometría del proceso de subducción, relacionado con la trinchera Colombo-Ecuatoriana, mediante el uso de hipocentros bien localizados y mecanismos focales, plantea el fracturamiento de la placa Nazca con Suramérica y propone tres segmentos de la litosfera subducida; Los segmentos Ecuador, Cauca y Bucaramanga, los cuales según su planteamiento subducen con diferentes ángulos de buzamiento; 35° N35E, 35° N120E y 20-25° N109E, respectivamente. Sugiere que por lo menos la separación entre los segmentos Cauca y Bucaramanga y la orientación de las placas subducidas están bien definidas para profundidades intermedias. Estudios posteriores, como los llevados a cabo por (Monsalve y Mora, 2005), permiten suponer la geometría (zona Wadatti –Benioff) de la placa Nazca subducida, basados en una buena localización de hipocentros y mecanismos focales, en la que se propone para el segmento Cauca (planteado por Pennington; 1981), un ángulo de buzamiento de 38° entre las latitudes 3°N - 5°N.

(Pedraza, 2007) con hipocentros bien localizados de ondas de cuerpo, telesísmos y análisis de mecanismos focales, estudia la geometría de subducción Nazca- Sudamérica incluyendo la zona Wadatti - Benioff, en la cual sugiere tres segmentos subducidos con ángulos de buzamiento distintos y relacionado a estos, dos aumentos en el buzamiento, el primero hacia los 4.5°N-5°N y el segundo hacia los 1°S-2°S. Particularmente existen varios modelos propuestos para explicar la interacción y el origen de los segmentos Cauca y Bucaramanga. Algunos trabajos asocian el segmento Cauca a un origen de la placa Nazca y el segmento Bucaramanga a la placa Caribe, mientras que otros sugieren un origen con la placa Nazca, así por ejemplo (Syracuse et al, 2016) indica una separación entre el segmento Bucaramanga y Cauca entre los 50- 100 km de profundidad asociado a un origen de Nazca.

Asociado al proceso de subducción Nazca-Sudamérica se halla un arco volcánico, que se extiende desde 5°N (Volcán Cerro Bravo, Colombia) hasta 2°S (Volcán Sangay, Ecuador) (Pedraza et al, 2007) y se reactiva nuevamente hasta la región del Perú (Pennington, 1981; Syracuse et al, 2016). Esta interrupción a su vez parece estar ligada al silencio sísmico para algunas zonas, donde se presentan cambios en la distribución de la sismicidad, particularmente donde se presentan brechas sísmicas (Pedraza, 2006). Diferentes investigadores han relacionado estas transiciones con fuertes cambios en los ángulos de buzamiento de los diferentes segmentos que se han propuesto previamente a lo largo de la trinchera Colombo- Ecuatoriana. Así por ejemplo, (Pedraza, 2006) sugiere que asociado a grandes cambios de buzamiento en las zonas de transición se observa ausencia de vulcanismo, mientras que para menores ángulos de buzamiento se asocia un silencio sísmico para profundidades intermedias y profundas. Estos efectos a su vez pueden deberse aparentemente a la presencia de las dorsales oceánicas (cordilleras submarinas) Carnegie y Malpelo como lo han sugerido varios autores (Hey, 1977; Gutscher et al, 1999; Pedraza, 2007) las cuales subducen bajo Sudamérica fracturando la placa Nazca y coinciden justamente con las discontinuidades donde se interrumpen los volcanes y la sismicidad. En los trabajos de (Vargas y Mann, 2013; Syracuse et al, 2016) según el offset parece corresponder a la falla “Caldas Tier” y su continuación en el mar correspondería al “Ridge de Sandra”. Otros autores como (Taboada et al, 2000; Vargas, 2003) proponen una zona de traslapamiento y transición de la placa Caribe y de la placa Nazca entre 5.2°N y 7°N en Colombia, de tal manera que la placa Caribe subduce por encima de la placa Nazca en estas latitudes.

### **3.4 Fuentes Sismogénicas**

Colombia ha estado sometida desde su pasado geológico a grandes esfuerzo de compresión, en la cual se han definido por lo menos tres fuentes sísmicas mutuamente relacionadas con el proceso de subducción; una fuente intraplaca y dos fuentes interplaca. La primera relacionada con un gran sistema de fallas en su mayoría de tipo transcurrente en diferentes direcciones del territorio colombiano, las cuales son responsables de la formación de cordilleras y de los valles que las

separan en los andes colombianos (Pennington, 1981) y de una marcada actividad sísmica superficial. Sismos como los ocurridos en el eje cafetero en 1999 y de Popayán en 1983 se le asocian este tipo de fuentes. Entre las fallas más importantes en Colombia se destacan la Falla de Romeral, la Falla oriental del Piedemonte Llanero y la Falla Cauca- Patía.

La segunda fuente sísmica, se asocia directamente con el proceso de subducción Nazca-Sudamérica, a partir de la trinchera colombo-ecuatoriana hasta casi 70 km de profundidad, a través del entrelapamiento e interacción del plano de fricción de la placa oceánica bajo la corteza continental, donde los sismos se caracterizan por ser superficiales. A esta fuente se le asocia un alto riesgo de ocurrencia de catástrofes naturales como tsunamis y terremotos. Terremotos como los ocurridos en Tumaco de 1979, Ecuador 2016, se le asocian a este tipo de fuentes. La tercera y última fuente sismogénica está asociada a la “Zona de Benioff”, relacionada con una sismicidad intermedia sobre el plano de fricción a profundidades entre 70 km y 200 km bajo en Centro Occidente Colombiano que comprende los Departamentos del eje Cafetero y Norte del Valle del Cauca (OSSO, 2013).

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 Teoría Básica De Tomografía Sísmica Local**

La Tomografía Sísmica Local (LED) es un método que se utiliza para determinar las propiedades y estructura de la corteza terrestre, incluso en medios altamente heterogéneos, mediante la construcción de imágenes o tomogramas 1D y 3D, a partir de datos experimentales (Torres, 2012). En otras palabras, es el conjunto de técnicas con capacidad de reconstruir imágenes a partir de proyecciones o señales indirectas como las ondas sísmicas (Vargas, 2003). Con esta técnica se obtienen los modelos de velocidad mediante los cuales se pueden inferir las unidades de roca, los cuerpos magmáticos en volcanes activos, imágenes tectónicas incluso en zonas de subducción y rasgos geológicos como fallas con contrastes de velocidad. En el mejor de los casos, los resultados de una LED pueden verse como una imagen filtrada de la distribución de velocidades sísmicas en un volumen de la corteza de la tierra (Vargas, 2003).

Esta a su vez implementa principios físicos fundamentales y métodos de inversión, con los cuales se pretende reconstruir los parámetros o propiedades del subsuelo a lo largo de la trayectoria por la cual viajan los rayos sísmicos. En efecto las ondas sísmicas en su propagación por el interior de la tierra son perturbadas de algún modo por la densidad y las propiedades elastomecánicas del medio, lo cual causa un efecto directo en la atenuación y en la variación de las velocidades sísmicas de propagación que constituyen parámetros a determinar (Torres, 2012). Los datos obtenidos en superficie son la respuesta del medio por el cual viajan las ondas sísmicas (Imfot, 2008), por lo tanto las variaciones en las velocidades de un frente de onda propagándose desde la fuente hasta el receptor puede considerarse como un tomograma. Cuando se desea estudiar la estructura terrestre, la sismología hace uso de los tiempos de viaje de las ondas sísmicas que viajan a través de dicho medio que son generalmente medidos por geófonos y sismógrafos y una de sus aplicaciones es obtener un modelo de corteza y manto que represente las variaciones de velocidad de la onda con la profundidad.

Para la realización de la tomografía sísmica, existen en forma general dos modelos a seguir, el primero conocido como tomografía sísmica de rayos, que es análoga a la teoría de rayos ópticos y el segundo como tomografía de difracción. El primero es implementado cuando las dimensiones de las estructuras estudiadas son mucho mayores que la longitud de las ondas sísmicas producidas por la fuente sísmica, mientras que el segundo es utilizado, siempre y cuando, las dimensiones de las estructuras geológicas estudiadas son comparables a la longitud de las ondas sísmicas. En este sentido el método más implementado es la tomografía sísmica de rayos dada su sencillez matemática, computacional y la amplia aplicabilidad en generación de modelos de velocidad. Este método generalmente puede contener infinitos algoritmos de reconstrucción de modelos, pero los más conocidos son los algoritmos en expansión en series, métodos de Fourier, métodos de convolución, métodos de retroproyección, el método de reconstrucción algebraica (MRA) y el

método de reconstrucción iterativa simultánea (SIRT). Los métodos de expansión en series revisten gran importancia porque permiten en sus algoritmos trayectorias curvas de los rayos sísmicos a través de la cual se puede determinar el modelo buscado.

La Tomografía Sísmica Local (LED) es propuesta y usada como un método para iluminar la estructura de velocidad del Manto superior y la Corteza, simultáneamente con la localización de sismos, método conocido como “Inversión simultánea”. En otras palabras la determinación de hipocentros se lleva a cabo a la vez con la determinación de la estructura de velocidad de una región, mediante el uso de rayos sísmicos que la atraviesan (Thurber, 1981,1983, 1992; Kissling, 1988; Kissling et al, 1994). En áreas de alta actividad sísmica, la parte superior de la corteza es iluminada por cualquier dirección de rayos, por simple distribución o despliegue de estaciones en lugares deseados. Si se tiene suficiente sismos y receptores distribuidos dentro de la región de interés, de tal forma que los rayos pasen a través de la mayor parte del volumen en estudio, se podrá tomografiar con imágenes las variaciones de velocidad en la región (Kissling, 1988).

En este sentido el tiempo de viaje " $T_j$ " de una onda sísmica desde de una fuente sismológica (hipocentro) a un receptor (estación sismológica) se define a partir de la teoría del rayo, como una integral de incrementos de tiempo de viaje a lo largo del camino de propagación " $j$ " por donde viaja la onda. Cada tiempo de viaje de cada sismo a cada receptor contiene información acerca de la distribución de velocidades a lo largo del trayecto seguido por la onda y puede ser expresado de la siguiente forma (Torres, 2012):

$$T_j = \int_{rayoj} \frac{1}{v(r)} ds \quad (A)$$

Donde  $v(r)$  representa el campo de velocidades y  $ds$  representa un elemento de longitud del camino. Generalmente  $(1/v(r))$  es conocido como lentitud " $U(r)$ " que es más comúnmente utilizado en la construcción de modelos de velocidad. Por motivos de simplicidad la ecuación (A) se suele denotar en función de la lentitud así:

$$T_j = \int_{rayoj} U(r) ds \quad (B)$$

Por otro lado, el tiempo observado  $t_j$  en las estaciones sismológicas, conocidos como tiempo de arribo del rayo " $T_j$ ", se define como la suma entre el tiempo de origen  $t_0$  del sismo y el tiempo de viaje  $T_j$  del rayo del siguiente modo:

$$t_j = t_0 + T_j \quad (C)$$

Aquí el tiempo de arribo de las ondas sísmicas generadas por eventos sísmicos y observados (ver Figura 4.1) en estaciones sísmicas, excepto el tiempo de origen, corresponden a una función no lineal (Thurber, 1983; Kissling et al, 1994) de tres parámetros hipocentrales  $(x_0, y_0, z_0)$  y "n" parámetros de velocidad  $V(x, y, z)$  (campo de velocidad) a lo largo de la trayectoria del rayo



(Kissling, 1988) y se suele denotar así:

$$t_{obs} = f(t_0, x_0, y_0, z_0, V(x, y, z)) \quad (D)$$

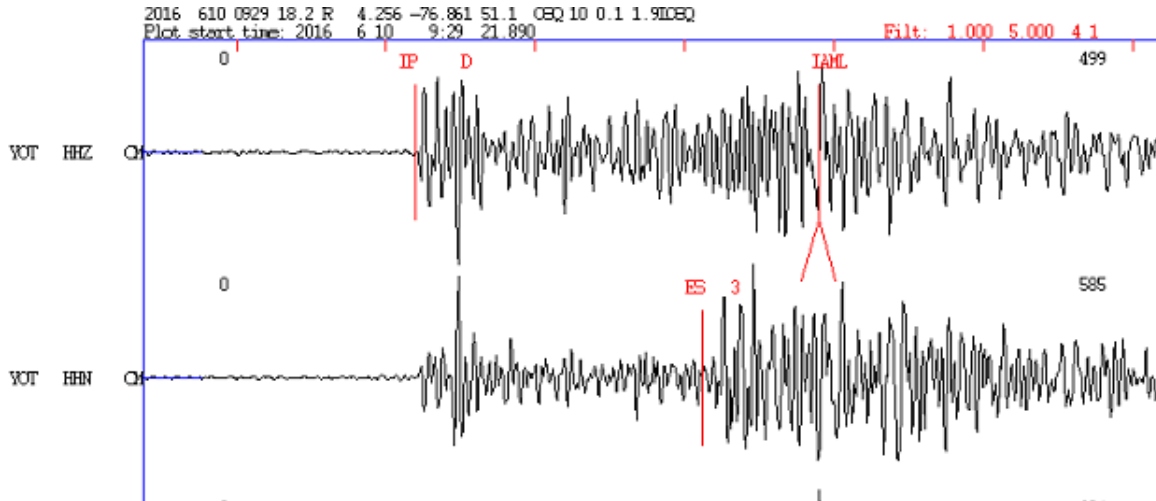


Figura 4. 1 Ejemplo de Sismograma, donde se observan y pican los tiempos de arribo de las ondas “P” y “S”. asociado al picado del arribo de la ondas P y S del sismo del 10 de junio de 2016 registrado en la estación de Yotoco - Valle del Cauca (Fuente: Imagen tomada del programa SEISAN)

En general ni los hipocentros de los sismos (parámetros hipocentrales), ni el campo de velocidades (parámetros de velocidad) son conocidos. El mejoramiento en la localización de sismos depende directamente del mejoramiento del modelo de velocidad y viceversa, lo cual hace más complejo la solución del problema. Con el tiempo de arribo observado " $t_{obs}$ ", las coordenadas de las estaciones en superficie y sus incertidumbres asociadas, que es generalmente lo que se conoce, no es posible resolver la ecuación (D) directamente (Kissling et al, 1994).

Ante la dificultad impuesta anteriormente, se debe suponer y proponer previamente una hipótesis de parámetros desconocidos arbitrariamente, utilizando un simple modelo promedio 1D de capas plano paralelas de velocidad (modelo de tierra plana no necesariamente verdadero) producto de perfiles sísmicos, tablas experimentales camino tiempo de Jeffrey y Bullen 1940 (Lay and Wallace, 1995) o bajo la hipótesis de emplazamiento de roca a lo largo de diferentes eras geológicas (ver Figura 4.2) y del cual se puede trazar, a partir de la teoría de rayos, el tiempo de viaje teórico " $t_{calc}$ " desde la fuente sísmica (hipocentro) hasta el receptor (Kissling, 1988, Kissling et al, 1994; Menke, 1984) asumiendo eventos puntuales. Igualmente, a partir del modelo estimado 1D se pueden estimar los parámetros hipocentrales en la rutina de localización diaria en los observatorios sismológicos. La precisión en la localización depende del grado de conocimiento que se tenga de la estructura interna.

En este sentido se formula el problema directo, una herramienta importante en los métodos de

inversión, en la cual el tiempo de viaje calculado " $t_{calc}$ " en función de los parámetros calculados puede ser denotado de la siguiente forma:

$$t_{calc} = f(t_0^*, x_0^*, y_0^*, z_0^*, V^*(x, y, z)) \quad (E)$$

Donde  $(t_0^*, x_0^*, y_0^*, z_0^*)$  representa los parámetros hipocentrales calculados y " $V^*(x, y, z)$ " los parámetros de velocidad estimados a partir del modelo de velocidad teórico. Usualmente se requiere encontrar, cuál es el rayo que sigue la onda desde la fuente al receptor. Este proceso de "ray tracing" es una tarea numérica realizada normalmente por computadores utilizando la ley de Snell donde se calcula el camino del rayo y por consiguiente el tiempo de viaje.

Utilizando una expansión en serie de Taylor de varias variables truncada en primer orden, se puede reescribir la ecuación (D) como una aproximación lineal, la cual relaciona los tiempos de viaje calculados y observados (ver Figura 4.1) (Thurber, 1983; Kissling, 1988; Kissling et al, 1994; Larson, Hostetler and Edwards, 2006) de la siguiente forma:

$$t_{obs} \cong t_{calc} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial t_{calc}}{\partial x_i^*} (x_i - x_i^*) \quad (F)$$

Donde " $x_i$ " representan los parámetros desconocidos relacionados con el tiempo observado alrededor de los parámetros " $x_i^*$ " calculados asociados al tiempo calculado. El planteamiento en la ecuación (F) permite discretizar el problema inverso (parametrización discreta del modelo de velocidad) y segmentar el modelo de velocidad por múltiples bloques. Generalmente se asume velocidad constante en cada bloque, pero quizás varíe de bloque en bloque. Además de esto se requiere, para una buena obtención de un modelo, que por un bloque atravesase más de un rayo sísmico.

La diferencia entre el tiempo de viaje observado y el tiempo de viaje calculado es llamado el tiempo de viaje residual o el vector residual "misfit" (Thurber, 1983) y puede ser denotado a partir de la ecuación (F) como:

$$t_{resid} \cong \sum_{i=1}^n \frac{\partial t_{calc}}{\partial x_i^*} (x_i - x_i^*) \quad (G)$$

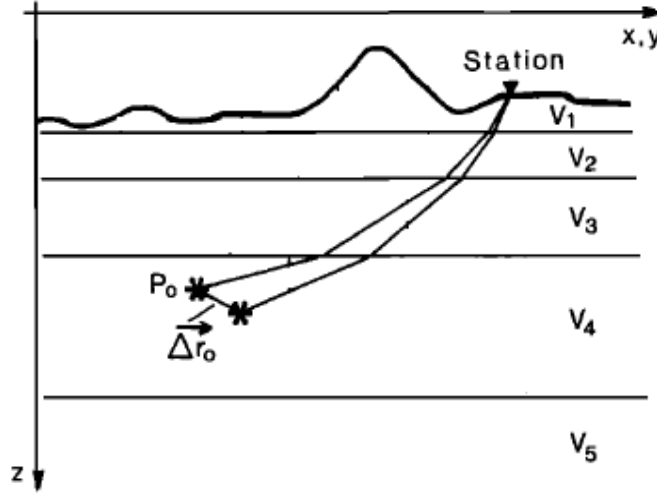


Figura 4. 2 El problema inverso acoplado hipocentro- modelo de velocidad para un solo rayo:  $z$ , profundidad;  $V_n$ , la velocidad de la  $n$  capa;  $P_0$ , el hipocentro ( $t_0, x_0, y_0, z_0$ );  $\Delta r_0$ , ajuste hipocentral. (Tomada de (kissling, 1988)).

Este vector residual es función de la diferencia (vector de ajuste) entre los parámetros observados y calculados de la velocidad y los hipocentros, como se aprecia en la relación (G). Si se toma un modelo de referencia inicial muy similar a las condiciones tectónicas, los residuos deberían acercarse a cero, pero los residuos nunca van a llegar a cero, debido a la imprecisión de los tiempos de llegada de las fases sísmicas. La solución numérica del problema directo es de tal precisión que el cálculo del tiempo de viaje se asumirá libre de errores. Con más detalle la ecuación (G) se puede expandir del siguiente modo:

$$t_{resid} \cong \sum_{i=1}^4 \frac{\partial t_{calc}}{\partial h_i^*} \Delta h_i + \sum_{k=1}^n \frac{\partial t_{calc}}{\partial m_k^*} \Delta m_k \quad (H)$$

Donde  $(\partial t_{calc} / \partial h_i^*)$  es la derivada parcial del tiempo de viaje con respecto a los cuatro parámetros hipocentrales  $h_i^*$  y  $(\partial t_{calc} / \partial m_k^*)$  es la derivada parcial del tiempo de viaje con respecto a “ $n$ ” parámetros de velocidad. En esta ecuación el cálculo de las derivadas parciales es conocido como problema directo mientras que el cálculo de  $\Delta h_i$  y  $\Delta m_k$  es conocido como el problema inverso. La relación (H) es una ecuación lineal para cada rayo desde la fuente al receptor. Así, por ejemplo, para un rayo “ $i$ ” como el mostrado en la Figura 4.2 el tiempo residual puede ser expresado (Kissling, 1988) a partir de la ecuación (H) como:

$$t_i \cong \frac{\partial t_{calc}}{\partial t^*} \Delta t_0 + \frac{\partial t_{calc}}{\partial x^*} \Delta x_0 + \frac{\partial t_{calc}}{\partial y^*} \Delta y_0 + \frac{\partial t_{calc}}{\partial z^*} \Delta z_0 + \sum_{k=1}^n \frac{\partial t_{calc}}{\partial m_k^*} \Delta m_k \quad (I)$$

Para este sismo en particular, existen 4 parámetros hipocentrales por determinar, más  $n$  parámetros de velocidad por determinar (capas de velocidad), lo que implica que por cada sismo

adicional se incrementará cuatro veces la cantidad de parámetros hipocentrales (Kissling, 1988). De esta forma, a partir de la ecuación (I) para un solo evento sísmico con muchos rayos (i observaciones) viajando a diferentes estaciones, se obtiene un sistema de ecuaciones lineales, donde se inducen correcciones provenientes de los residuos temporales, los cuales pueden ser planteados bajo un arreglo matricial como:

$$d = G m + e \quad (J)$$

En este caso “d” representa el vector residual, “G” la matriz de derivadas parciales (Jacobiano) evaluada en los parámetros iniciales, que relaciona los datos “d” con el modelo de parámetros “m” o vector de ajustes de parámetros hipocentrales - velocidad y “e” involucra los errores en la localización de hipocentros, errores en el asumido modelo de velocidad o en general una combinación de todas las fuentes error. El objetivo es resolver el sistema de ecuaciones (J) simultáneamente para parámetros de velocidad e hipocentros con muchos eventos sísmicos. El cálculo del vector “d” se conoce como el problema inverso, mientras que la determinación de la matriz “G” es conocido como el problema directo y su formulación puede ser expresada más detalladamente por (Kissling, 1988) como:

$$G = \left( \begin{array}{ccc|ccc} \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial h_{1,j}} & 0 & 0 & \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial m_n} \\ 0 & \dots & 0 & \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial m_n} \\ 0 & 0 & \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial h_{i,j}} & \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial t_{i \text{ cal}}}{\partial m_n} \end{array} \right), m = \begin{pmatrix} \Delta y_{1,j} \\ \Delta y_{2,j} \\ \vdots \\ \Delta y_{i,j} \\ \Delta m_1 \\ \Delta m_2 \\ \vdots \\ \Delta m_n \end{pmatrix}, e = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ \vdots \\ e_i \end{pmatrix} \quad (K)$$

Donde “ $d_i$ ” :  $i = 1, \dots, \text{nobsto}$  (número máximo de observaciones del tiempo de viaje en cada estación) y “n” número total del parámetros desconocidos de velocidad. El número de elementos diferentes de cero en la matriz “G” es cuatro veces el número de eventos más el número de parámetros de velocidad. Además dependiendo del modelo calculado previamente, de esa misma forma cambiará G y por consiguiente el modelo estimado.

La Tomografía Sísmica es un problema inverso mixto, donde partes de la solución están sobre-determinadas y sub-determinadas, debido a que muchos o pocos rayos cruzan un volumen de estudio respectivamente. El cálculo de una gran cantidad de parámetros desconocidos conlleva al uso de un gran número de observaciones más grande que parámetros por determinar, lo cual implica trabajar con sistemas sobre-determinados (Menke, 1984; Lay and Wallace, 1995). En este sentido los parámetros desconocidos se incrementan cuatro veces el número de eventos, más el número de parámetros de velocidad (Kissling, 1988; Menke, 1984), lo cual requiere invertir y resolver múltiples ecuaciones para múltiples parámetros desconocidos, con un considerable tiempo de cómputo. El objetivo es minimizar al máximo el error que permita determinar los parámetros hipocentrales y de velocidad, que mejor se ajuste al problema inverso no lineal. De hecho los errores en la localización de eventos sísmicos debido al modelo de velocidad, se hacen más visibles

cuando muchos eventos sísmicos son localizados simultáneamente mientras se minimiza el error.

## 4.2 Separación de Parámetros Hipocentrales y Modelo de Velocidad

Considerando el tiempo de cómputo involucrado, la matriz “G” de derivadas parciales puede ser formalmente separada en términos de dos problemas inversos acoplados propuesto por (Pavlis and Booker, 1980 citado por Kissling, 1988) y aplicados por (Thurber, 1983). Este permite resolver el problema separadamente sin eliminar la otra parte acoplada. Los experimentos muestran que la separación de parámetros es necesario para la mayoría de estudios de LED y puede ser expresado de la siguiente forma:

$$Gm = Hh + Mv + e \quad (L)$$

Donde “H” representa la matriz con derivadas parciales del tiempo de viaje con respecto a parámetros hipocentrales y “M” la matriz de derivadas parciales del tiempo de viaje con respecto a los parámetros del modelo de velocidad, “h” y “v” son los vectores de ajustes de parámetros hipocentrales y del modelo de velocidad, respectivamente (Kissling, 1988).

El propósito de determinar tanto los parámetros hipocentrales como los parámetros de velocidad simultáneamente, a partir de un conjunto de eventos sísmicos es lo que se conoce como el problema acoplado de parámetros hipocentrales – parámetros de velocidad o también conocido como la inversión conjunta o acoplada de dos problemas inversos (Kissling, 1988; Menke, 1984). La inversión de datos de sismos locales para modelos 1D y 3D de estructura de velocidad, requiere la simultánea solución del problema inverso acoplado hipocentro – modelo de velocidad como se refirió anteriormente. Este problema involucra la inversión, una tarea que es solamente realizada por solución numérica aproximada, cuando las matrices se hacen muy grandes. Este método de aproximación consiste en obtener los más apropiados parámetros de la inversión; Damping de amortiguamiento y número particular de pasos de iteración (Kissling, 1988) en la solución numérica, mientras se minimiza el error para un gran número de eventos sísmicos.

## 4.3 Problema Inverso

La teoría inversa, es un conjunto organizado de técnicas matemáticas, usadas para reconstruir modelos y extraer información útilmente de un sistema físico, a partir de un conjunto de datos experimentales. Así pues, los problemas inversos tratan de recuperar el código secreto o estructura interna inaccesible de un objeto por el resultado de experimentos sin destruir la estructura interna con evaluación no invasiva. En comparación con el problema directo, que hace uso de modelos previos y deterministas, el problema inverso es aún más complejo, puesto que se incluye en este mismo el problema directo (Snieder and Trampert, 1999; Menke, 1984).

El problema inverso comienza con la comparación, entre un conjunto de datos teóricos, obtenidos a partir de un modelo previamente establecido (problema directo), y una base de datos experimentales (observaciones de tiempo de viaje), con las cuales se pretende, a través de un proceso iterativo de métodos numéricos, estimar los parámetros particulares de un modelo lineal o no lineal buscado, además evaluar su idoneidad entre muchos modelos (Lay and Wallace, 1995). De esta forma se puede encontrar un modelo aproximado que se ajuste a los datos y por tanto declarar que el modelo encontrado suficientemente describe las localizaciones (Lay and Wallace, 1995). Un ejemplo claro de inversión es el proceso de linealización de una recta a partir de un conjunto de datos experimentales con mínimos cuadrados (problema inverso lineal) o el proceso de localización de sismos o Tomografías Sísmicas (problema inverso no lineal).

Por otro lado, las propiedades físicas, en un problema inverso, pueden ser representadas a través de parámetros discretos o continuos. Para el caso de la tomografía sísmica local, la teoría inversa hace uso de modelos discretos los cuales son caracterizados por un número finito de parámetros que pueden ser representados a través de sistemas matriciales (Menke, 1984).

El problema inverso no lineal está limitado en su aplicabilidad. En primer lugar no existe una técnica de inversión exacta en la práctica. La técnica de inversión computacional es en general muy inestable además, en muchos problemas inversos, el modelo que se pretende determinar es una función continua del espacio de variables (infinitos grados de libertad) mientras que en los experimentos realistas se obtienen una cantidad finita de datos para reconstruir un modelo con infinitos grados de libertad, necesariamente significa que el problema inverso no es único, en el sentido que muchos modelos puedan explicar los datos bien (Snieder and Trampert. 1999).

Dado que en general no existen soluciones inversas directas a problemas no lineales, se suelen utilizar procesos iterativos capaces de aproximarnos a soluciones cercanas a las verdaderas, tanto como sea posible, como es el caso del problema inverso acoplado en tomografía sísmica LED (Vargas, 2003). La siguiente ecuación, es la notación vectorial de un problema no lineal y forma el fundamento de la teoría inversa (Menke, 1984).

$$d = G m + e \quad (M)$$

Donde, “d” es el vector de datos de las mediciones realizadas, “m” el modelo de parámetros y “G” el funcional que relaciona los datos con el modelo de parámetros (Menke, 1984; Vargas, 2003), relación equivalente al sistema de ecuaciones (J) para la inversión en la tomografía sísmica local LED. Una perfecta solución podría ser determinar “m” tal que:

$$d - G m = 0 \quad (N)$$

Esta perfecta solución es usualmente imposible debido a los errores en los datos que generalmente no son nulos, sino además porque típicamente se tiene más datos que parámetros a

determinar (sistema sobredeterminado), lo cual implica que no exista solución exacta, ni única. Por consiguiente el modelo de parámetros estimado (modelo solución) de un problema inverso, es el que permite minimizar al máximo el error, normalmente a través de la Norma cuadrada (L2) (Torres, 2012) así:

$$L_2 \text{ norm: } \|e\|_2 = \left[ \sum_i |e_i|^2 \right]^{1/2} \quad (O)$$

$$E = \sum_i |e_i|^2 \quad (P)$$

A partir de esta norma se plantea minimizar la función error, que busque valores del modelo de parámetros que resuelvan aproximadamente el problema así:

$$\text{minimizar } \{E = e^T e = (d - Gm)^T (d - Gm)\} \quad (Q)$$

Una buena aproximación es definida por la raíz cuadrática media (RMS) o la raíz cuadrada del error que se minimiza. Entre más pequeño sea el valor RMS obtenido, se tendrá un mayor ajuste entre todos los datos en la inversión. Datos con grande error tendrán un grande efecto en la solución. Al minimizar la función error anterior se obtiene la siguiente relación:

$$G^T Gm - G^T d = 0 \quad (R)$$

De la cual, una sencilla solución del problema inverso consistiría en estimar un modelo de parámetros “mest”, que es un simple conjunto de valores numéricos. Presumiendo que la matriz inversa exista, la solución del problema inverso por mínimos cuadrados es (Menke, 1984):

$$m^{est} = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (S)$$

Sin embargo a causa de que la matriz Jacobiana “G” a menudo contiene muchos ceros debido en la práctica a que muchos rayos no pasan a través de bloques,  $[G^T G]$  es usualmente singular y no tiene inversa, que inhibirán una solución estable (Vargas, 2003). Para evitar este problema, el problema inverso es rescatado a través del método de mínimos cuadrados amortiguados o de Levebertg –Maquardt (Menke, 1984), el cual establece una solución estimada mediante un proceso de iteración que evita una solución numérica inestable en la inversión directa de la ecuación (M). Su solución es la siguiente:

$$m^{est} = [G^T G + \lambda I]^{-1} G^T d ; \text{ Para } \lambda > 0 \text{ la matriz inversa existirá. } \quad (T)$$

Donde “I” es la matriz identidad, “ $\lambda$ ” el damping o parámetro de amortiguamiento y  $[G^T G + \lambda I]^{-1}$  es la matriz inversa generalizada de Levenberg –Marquardt (Menke, 1984; Vargas, 2001; Lay and Wallace, 1995), denotada como  $G^{-g}$  de la siguiente forma:

$$m = G^{-g} d \quad (U)$$

La solución anterior es alcanzada aplicando correcciones iterativas de optimización al modelo inicial, hasta alcanzar la mayor disminución del error, bajo un criterio de parada de la siguiente forma:

$$m_i^{est} = m_{i-1}^{est} + \Delta m_{i-1} \quad (V)$$

Esta solución permite resolver el problema inverso, realizando correcciones al modelo de parámetros de velocidad e hipocentros, teniendo en cuenta que las correcciones hipocentrales se estiman con el modelo de velocidad actualizado en una inversión rutinaria de localización de eventos. En consecuencia, el modelo obtenido en la inversión de datos no necesariamente será igual al modelo inicialmente estimado.

La validez de la solución iterativa para el problema linealizado es fuertemente dependiente de la calidad del modelo inicial, lo que puede conducir a más de una solución (Vargas, 2003). Dependiendo de la estructura del problema particular, los errores medidos quizás sean promediados significativamente o amplificados en el caso que el modelo no tenga sentido. Al tomar arbitrariamente una de estas soluciones, en ocasiones se da la falsa impresión que una única solución ha sido obtenida. Por consiguiente, para la localización de un sismo con muchas observaciones y un buen cubrimiento azimutal, una buena ubicación inicial del evento (aún lejos de la verdadera localización) nos llevaría a resultados bastante confiables (Vargas, 2003).

Existen varios tipos de programas con algoritmos de optimización, que resuelven el problema inverso de Tomografía sísmica a través de un proceso iterativo computacional. Entre los programas más comunes se encuentra el programa VELEST para inversión 1D y el programa SIMULPLS14 para la inversión 3D, los cuales son utilizados en el presente trabajo.

#### 4.4 Localización de Sismos con Múltiples Estaciones

El problema de localización consiste en determinar las coordenadas  $(x_0, y_0, z_0)$  y el tiempo de origen del hipocentro con base a las medidas del tiempo de arribo de las ondas sísmicas a las estaciones sismológicas (Menke, 1984). Este proceso de localización contiene solo 4 parámetros hipocentrales. Si correspondiera a un problema exacto, solo cuatro observaciones serían suficientes para la localización de un evento. Sin embargo, las observaciones tienen asociados errores, por lo tanto, una solución exacta no es posible obtener, aun teniendo una buena precisión en los tiempos



de arriba, puesto que este tipo de problemas son de carácter no lineal. Así pues, dado que en general, no existen soluciones inversas directas a problemas no lineales, se suelen usar aproximaciones y métodos numéricos iterativos, los cuales buscan soluciones más aproximadas a las verdaderas, en la cual el modelo de parámetros obtenido se ajusta a los datos observados (Vargas, 2003). Por lo tanto, la determinación de hipocentros es un caso particular de problemas inversos. Este fue inicialmente planteado por Geiger en 1910, basado en el método de Gauss-Newton que bajo un proceso de iteración minimiza los errores residuales con varias observaciones.

El proceso de localización con múltiples estaciones plantea la necesidad de conocer a priori un modelo cortical de velocidad 1D constante e hipocentros preliminares. Al tomar un modelo inicial de velocidad constante, se puede obviar la parte de los parámetros de velocidad en la ecuación (H) y por consiguiente convertirse en un problema de inversión netamente de localización de sismos en la rutina diaria e.g, localización de sismos con el programa SEISAN que utiliza HYPOCENTER o HYPO71, entre otros. De este modo, el problema de inversión para la localización de sismos puede ser planteado de la siguiente forma:

$$t_{resid} \cong \sum_{i=1}^4 \frac{\partial t_{calc}}{\partial h_i^*} \Delta h_i \quad (W)$$

Esta ecuación corresponde a solo los parámetros hipocentrales. En la medida que el número de observaciones en las diferentes estaciones sea mucho mayor que los 4 parámetros hipocentrales por determinar, se obtiene un sistema de ecuaciones lineales sobredeterminado (Menke, 1984) el cual puede ser resuelto por varios métodos numéricos, usualmente por el método de mínimos cuadrados o mínimos cuadrados amortiguados. Las observaciones serán mejor explicadas, en la medida que se minimice el vector misfit entre el tiempo calculado y observado del tiempo de viaje de las ondas sísmicas, o sea el valor RMS (Kissling, 1988).

## 4.5 Programa SEISAN

Es un software libre diseñado para trabajar bajo diferentes sistemas operativos, el cual consta de un conjunto completo de programas para análisis sísmológico, con una simple base de datos de muy fácil acceso. Con este programa es posible analizar terremotos a partir de datos analógicos y digitales, usando lecturas de señales sísmicas en las diferentes estaciones, registrando y localizando eventos sísmicos locales, regionales y globales, determinando magnitudes de eventos, mecanismos focales, sino además haciendo uso de otro tipo de herramientas para un análisis detallados (Havskov and Ottemöller, 1999; Ottemöller, Voss, and Havskov, 2011). La versión SEISAN 9.1.1 fue la utilizada en el presente trabajo bajo el sistema operativo Windows 7 y la principal tarea fue la localización y relocalización de eventos sísmicos locales, en la cual se determinan básicamente las coordenadas hipocentrales, el tiempo de arribo de ondas “P” y “S” y el tiempo de origen, lo que constituye un proceso de inversión. Con el conjunto de programas vinculados a la misma base de

datos, además es posible implementar diversas subrutinas para determinar otro tipo de parámetros como por ejemplo el programa VELEST, para la determinación de modelos de velocidad 1D.

#### 4.6 Programa VELEST (Modelo 1-D)

VELEST es un programa elaborado en lenguaje FORTRAN77 y utilizado para realizar inversiones con tiempos de viaje de primeros arribos de ondas “P” y “S” para hipocentros de sismos, explosiones de cantera, correcciones por estación y modelos de velocidad simultáneamente (problema inverso acoplado) e inversión hipocentral conjunta (modelo de velocidad fijo con variación de parámetros hipocentrales y correcciones por estación). Este programa fue inicialmente desarrollado en 1976 por W.L. Ellsworth y S. Roecker para estudios de tomografía sísmica con el nombre del programa HYPO2D y en su proceso de optimización utiliza algoritmos como la descomposición cholesky o descomposición en valores singulares (Kissling, 1988). En 1984, E. Kissling y W. L. Ellsworth, después de modificaciones a la estructura de flujo y la implementación de nuevas opciones, lo usaron para calcular el modelo óptimo de velocidades que mejor ajustara localizar sismos e implementar tomografías sísmicas 3-D del área de Long Valley, California (Kissling, 1988). Desde entonces se ha aplicado VELEST a diferentes áreas de estudio alrededor del mundo. La versión modificada de VELEST para Windows ha sido utilizada en el presente trabajo bajo una subrutina del programa SEISAN 9.1.1.

Normalmente en el procedimiento de una localización, los parámetros de velocidad se mantienen constantes (modelo de velocidad 1-D constante) mientras que el tiempo observado, es interpretado como perturbaciones de solo parámetros hipocentrales, sin tener en cuenta la influencia del modelo inicial de velocidad, que puede a su vez, contener y reproducir errores y no corresponder precisamente a las condiciones geotectónicas del lugar (Thuber, 1992; Quintero and Kissling., 2001). Por lo tanto, a causa de las incertidumbres en la localización y en el modelo de velocidad, se realiza la inversión simultánea de los parámetros hipocentrales y de velocidad, comúnmente realizado con el programa VELEST (Kissling et al., 1994).

Especialmente, el programa VELEST permite derivar un modelo de velocidad 1-D conocido como el “*mínimo modelo 1-D*”, que es el resultado de una inversión simultánea iterativa (Problema inverso acoplado) que ajusta los parámetros hipocentrales, las correcciones de las estaciones y las capas de velocidad, mientras se minimiza al máximo el error de la inversión, o sea se busca el menor error RMS, que permita localizar sismos simultáneamente con la obtención de un modelo de velocidad, que mejor se ajuste a los datos (hipocentros). El concepto de un “Modelo Mínimo 1D” es descrito en detalle por (Kissling, 1988; Kissling et al, 1994), para mejorar la localización de sismos y como modelo de referencia inicial para tomografías sísmicas 3D (Kissling, Kradolfer, and Maurer, 1995).

Este problema de inversión simultánea es resuelto calculando inicialmente, para el problema

directo, trayectorias de rayos sísmicos (ray tracing) de la fuente al receptor, para rayos directos, refractados y opcionalmente reflejados que pasan a través del modelo de velocidad inicial. El problema inverso consiste en solucionar por inversión completa, el amortiguado de la matriz de mínimos cuadrados  $[G^T G + \lambda I]$  ( $G$ = Matriz Jacobiana,  $G^T$ = Matriz Jacobiana transpuesta;  $\lambda L$ = Matriz amortiguadora). Debido a que el problema inverso es no lineal, la solución es obtenida iterativamente por un ensayo de prueba y error con modelos de velocidad iniciales, parámetros hipocentrales y distintos parámetros de amortiguamiento " $\lambda$ ". La solución del problema inverso acoplado es evaluado por el menor RMS (raíz media cuadrática), que corresponde al mínimo error en el acople del modelo de velocidad, los hipocentros y las correcciones por estación. A causa del proceso iterativo, es normal obtener varios valores RMS que representan mínimos locales como se muestra en la Figura 4.3. En tal situación la solución obtenida por cualquier algoritmo iterado depende fuertemente del modelo inicial y localización inicial del hipocentro (Kissling et al. 1988).

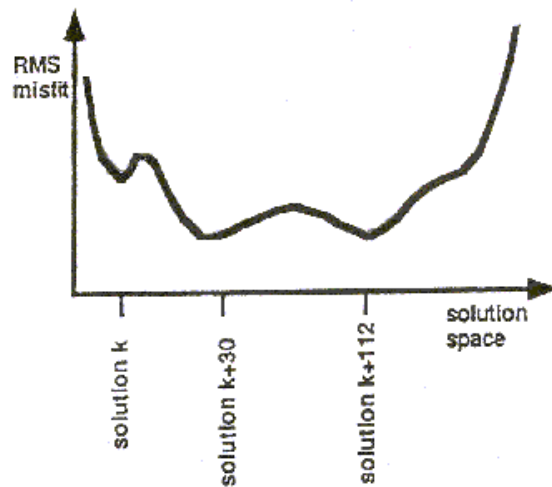


Figura 4.3 Ejemplo de un proceso de iteración de una inversión simultánea, para un parámetro de amortiguamiento fijo " $\lambda$ ", en el que se obtiene diferentes mínimos locales RMS dependiendo del paso de iteración. (Imagen tomada de (Kissling et al. 1995))

Una ventaja de este programa es que permite mostrar pasos y resultados intermedios del proceso de inversión, probando y mostrando sus efectos de forma más transparente. La Figura 4.4 muestra el diagrama de salida que utiliza el programa VELEST para realizar los cálculos de la inversión. Para más detalle de la rutina de inversión consultar (Kissling et al. 1995).

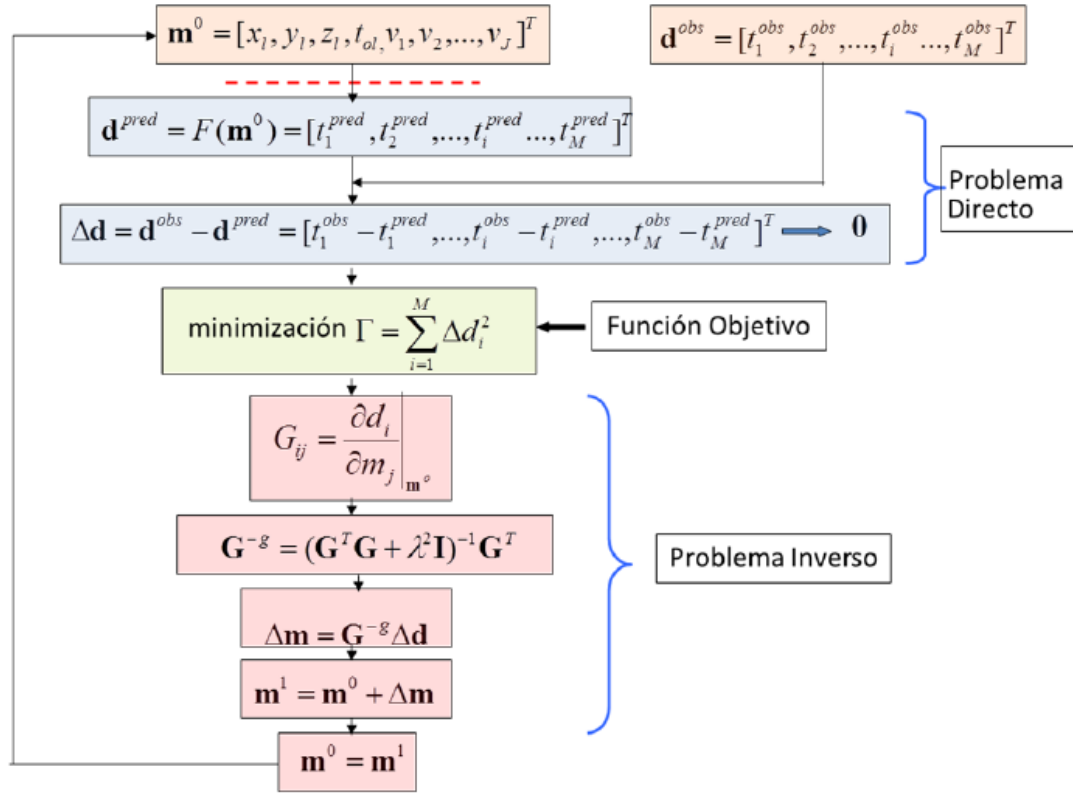


Figura 4. 4 Diagrama de flujo para el proceso de inversión simultanea de hipocentros- modelo de velocidad del programa VELEST, donde se parte de datos observados y calculados (problema directo) y se realiza posteriormente el proceso de inversión mientras se minimiza el error RMS. (Imagen Tomada de (Torres, 2012))

Este *mínimo modelo 1-D* obtenido se caracteriza por capas de velocidades que representan el mejor promedio para los rayos que la atraviesan, y correcciones por estación que igualmente son promedios de los retardos por estación para todas las observaciones. Estas correcciones juegan un papel importante para propósitos tomográficos de velocidad, en la identificación de efectos locales para cada estación. La importancia de las correcciones de cada estación radica en la diferencia relativa entre éstas, las cuales pueden ser correlacionadas con la geología superficial de cada lugar y como punto de partida en la interpretación de modelos de velocidad 3D (Vargas, 2003; Muñoz, Vargas, Chincangana, 2015). Este *mínimo modelo 1-D* obtenido finalmente puede ser usado en la localización de sismos y como modelo de referencia inicial para estudios de tomografía sísmica 3-D (Kissling, 1988; Kissling et al., 1994).

VELEST no está exento de las principales limitaciones encontradas en la inversión de problemas no lineales. En primer lugar está la gran variedad de soluciones que pueden satisfacer el problema inverso. La solución depende del modelo de velocidades inicial y la ubicación de los eventos que inicialmente se utilicen para el proceso iterativo. VELEST define un gran número de variables de control que deben ser modificadas en un largo proceso de prueba y error. El cálculo

del modelo mínimo 1D requiere múltiples ejecuciones con VELEST para seleccionar y probar los parámetros de control apropiados para establecer los datos y el problema. También se debe tener cuidado en la selección del espesor de las diferentes capas del modelo de velocidad. Este proceso se hace manualmente, ya que VELEST no tiene la posibilidad de cambiar los espesores de las capas de forma automática. Para calcular un Modelo Mínimo 1D se requiere múltiples corridas (Kissling et al. 1995).

#### **4.7 Programa SIMULPS14 (Modelo 3-D)**

SIMULPS14 es una extensión de la familia de códigos Simulps ampliamente utilizada y bien probada, originada por Thurber, 1983 y desarrollada por Um and Thurber (1987) y Eberhart-Phillips (1986) los cuales hacen usos de datos de sismos locales, siendo uno de los métodos rutinariamente más exitosos y de sólida trayectoria por lo que fue utilizado en el presente trabajo (Evans, Eberhart-Phillips, and Thurber, 1994). Simulps14 se basa en Simulps13q e incorpora un proceso iterativo simultáneo de inversión para modelar la estructura de velocidad 3D y el mejoramiento de los parámetros hipocentrales en tomografías sísmicas LED, sino además para encontrar rasgos estructurales como contrastes y anomalías de velocidad. Además hace uso de varios métodos en la solución del problema directo para el trazado de rayos (ray tracing), del cual se destaca el método ART\_PB. El trazado de rayos preciso y rápido en medios no homogéneos es un factor crucial para una inversión tomográfica exitosa (Haslinger, 1999).

A diferencia de VELEST, SIMULPS14 es utilizado para determinar las variaciones laterales de velocidad 3D con la profundidad, donde se plantea la necesidad de definir una retícula de nodos no regularmente espaciada, a los cuales se le asignan valores de velocidad inicial, generalmente de un modelo 1D, que conforme al proceso de inversión se van actualizando a partir de la interpolación lineal de los 8 nodos vecinos alrededor del punto que define una sección cubica, cuyo centro es el punto de interés. Este diseño debe ser tan fino como para detectar estructuras de interés, pero tan grueso como para recuperar la resolución del volumen de estudio. Este a su vez utiliza un trazador de rayos, que resuelve el problema directo con la técnica ART con planos de buzamiento variable con trayectorias circulares mediante la variación del radio del círculo, en la cual se determina la trayectoria de propagación de la onda sísmica entre la fuente- estación. El trayecto con el tiempo de viaje más corto es ajustado por Seudo Bending (SB). El rápido aumento del cálculo computacional limita su funcionamiento a un tope máximo de 800 sismos. Se ha observado que, dependiendo de la heterogeneidad del modelo de velocidad, los resultados pueden ser inexactos para longitudes de rayos superiores a aprox. 60 km.

SIMULPS14 utiliza un método de inversión mixto con residuales generados entre los tiempos de arribos observados y calculados de la onda “P” y “S”, utilizando el método de mínimos cuadrados amortiguados de Levenberg –Marquardt en un proceso de iteración similar a VELEST, donde partes de la solución están sobre-determinadas debido a que muchos rayos cruzan por un mismo

volumen finito (sobre-restringido), y otras partes están subdeterminadas puesto que ningún o pocos rayos cruzan por otro volumen finito. Con el objeto de controlar las variaciones de los parámetros del modelo y el ajuste de los datos evitando problemas en la inversión que puedan implicar valores singulares o muy cercanos, que inhibirían una solución numérica única estable, se realiza un balance o regularización entre el error de predicción y la longitud de la solución. Para la parte sobre-determinada del problema, se busca minimizar el error de predicción y para la parte sub-determinada del problema se busca minimizar la longitud de la solución pobremente restringida. Por consiguiente, se desea encontrar un amortiguamiento óptimo que permita la minimización simultánea del error de la predicción y de la longitud de la solución. Para seleccionar el valor óptimo se sigue el esquema propuesto por (Eberhart-Phillips, 1986) mediante una regularización del modelo que busca un punto de compensación o balance entre la varianza de los datos (una medida final del error de predicción) y la varianza del modelo (medida final de la longitud del modelo) mediante ensayo y error llevando a cabo inversiones de los datos para el modelo con diferentes valores de amortiguamiento. Este método de inversiones amortiguadas ha demostrado ser más fiables en aplicaciones de la tierra.

SIMULPS14 al tratar de resolver un problema no lineal a través de un proceso iterativo de inversión, puede conducir a muchos errores que pueden sesgar la solución. Además de la búsqueda del parámetro de amortiguamiento y los errores intrínsecos del problema de mínimos cuadrados, la determinación del modelo 3D tiene una fuerte dependencia con la distribución de los sismos en el volumen de estudio. Esta distribución es casi menos óptima de lo se necesita, puesto que en la mayoría de los casos solo algunas regiones del volumen de estudio pueden ser recuperadas. Ante esto se debe realizar distintas configuraciones de nodos, que permitan encontrar el espaciamiento reticular adecuado para recuperar el mejor modelo, sino además una buena localización de sismos. Por lo tanto, los tomográficas son modelos a partir de los datos que tratan de recuperar la estructura, mas no son imágenes o copias genuinas del interior de la tierra. Los modelos 3D quizás simplifiquen la complejidad en la mayoría de las partes desconocidas e incluso no necesariamente mejoren la localización hipocentral. Por consiguiente el software no entregará inmediatamente la respuesta correcta. Una tomografía sísmica no solo incluirá la obtención de tomográficas de velocidad con el control de parámetros previos, sino además de un proceso de interpretación y análisis, realizando una cuidadosa evaluación de la resolución obtenida y la correlación con otros datos geofísicos disponibles y estudios previos 1987 (Evans, Eberhart-Phillips, and Thurber, 1994; Haslinger, 1999).

## **4.8 Matrix Resolución**

El modelo de velocidad 3D posee una fuerte dependencia con la distribución de los datos, de modo que un modelo no será bien reconstruido a partir de datos establecidos por trayectorias de datos pobremente muestreados. Por tanto la resolución es menor en regiones muestreadas por pocos rayos. Incluso si una serie de rayos pasa través de un bloque con la misma dirección y el

mismo ángulo. Por tanto se requiere que los bloques en el modelo de velocidad sean muestreados por muchos rayos en diferentes direcciones y estén distribuidos homogéneamente en el volumen de estudio. La calidad de una inversión tomográfica puede ser estimada mediante la determinación de los elementos diagonales de la Matriz Resolución  $\mathbf{R}$ , que es el acople entre la solución y los parámetros del modelo, la cual puede definirse de la siguiente forma:

$$m^{est} = G^{-g} d = G^{-g} G m^{verd} = \mathbf{R} m^{verd}$$

$m^{est}$  son las correcciones del modelo estimado producto de la inversión y  $m^{verd}$  son los verdaderos valores a los que deberían llegar las correcciones del modelo.  $\mathbf{R}$  llega a representar el filtro a través del cual el modelo estimado se obtiene a partir del modelo verdadero. Los elementos diagonales de  $\mathbf{R}$ , comúnmente utilizados como parámetro estándar para describir la calidad de solución de una inversión, dependen fuertemente del valor de amortiguamiento escogido, así como del número de parámetros del modelo (indirectamente del tamaño del área en cuestión). Los elementos de la matriz resolución tienen una escala de 0 a 1, donde los menores valores indican menor resolución o menor paso de rayos a través del volumen de estudio, mientras que valores cercanos a 1 indican buena resolución y por tanto una buena cobertura de rayos a través del volumen de estudio.

## **5. Metodología y Procesamiento de Datos**

Para la determinación de los modelos de velocidad 1D y 3D de onda “P”, se planteó un esquema, mediante el cual, partiendo de un catálogo de eventos sísmicos y de trabajos geofísicos previos, se llevó a cabo una relocalización con el modelo General Quindío, permitiendo a su vez, la implementación de la inversión unidimensional no linealizada de rayos con el programa VELEST (Kisslin et al, 1994), con el objetivo de establecer un modelo de velocidad 1D, que permita mejorar la localización hipocentral y establecer la estructura cortical y manto superior sobre el cuadrante de estudio. Posteriormente, con la ayuda del programa SIMULPS14 (Thurber, 1983) y el mínimo modelo 1D obtenido, se ha construido un modelo de velocidad 3D por capas planas 2D para el volumen de estudio, con el objetivo de determinar contrastes de velocidad relacionados con la estructura cortical. En resumen, inicialmente se ha planteado la modelación 1D, para posteriormente abordar la modelación y localización de eventos 3D. Por lo anterior, la utilización e implementación de sismómetros e instrumentos digitales ha sido de suma importancia.

### **5.1 Instrumentación**

El territorio colombiano se encuentra monitoreado por diversos observatorios sismológicos y vulcanológicos a través de redes instrumentadas de carácter nacional, regional y local, desplegadas a lo largo del territorio nacional. Con especial atención de destaca el trabajo realizado por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), el Observatorio Sismológico del Suroccidente colombiano (OSSO) y el Observatorio Sismológico del Quindío (OSQ), los cuales se encargan de registrar, almacenar y monitorear la actividad sísmica del occidente colombiano, región caracterizada por una alta amenaza sísmica y una permanente actividad sísmica.

La RSNC adscrita al Servicio Geológico Colombiano (SGS), hace parte del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de desastres y además está encargada de dar una alerta temprana ante la ocurrencia de un evento sísmico en todo el país. Actualmente, la RSNC está constituida por 89 estaciones sismológicas distribuidas en gran parte del territorio nacional, las cuales transmiten su señal en tiempo real vía satélite hacia una estación maestra ubicada en Bogotá. Un despliegue de estaciones sismológicas como estas, son las que permiten obtener un buen catálogo de eventos sísmicos y un buen arreglo propio para estudios de tomografía.

Para el proceso de la relocalización, fueron utilizadas 67 estaciones de las cuales 58 le pertenecen a la Red sismológica Nacional de Colombia (RSNC), 2 al Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (OSSO), 5 a los Observatorios Vulcanológicos colombianos y 2 a la Red sismológica de Panamá. En total fueron utilizadas 18 estaciones con sensores de corto periodo, 45 estaciones con sensores de banda ancha y 4 estaciones acelerográficas. Del mismo modo para el proceso de inversión tomográfica 1D (LED), fueron utilizadas 42 estaciones, de las cuales 12 correspondieron a sensores de corto periodo, 27 estaciones de banda ancha y 3 estaciones acelerográficas. Las demás estaciones no fueron tenidas en cuenta por su gran lejanía



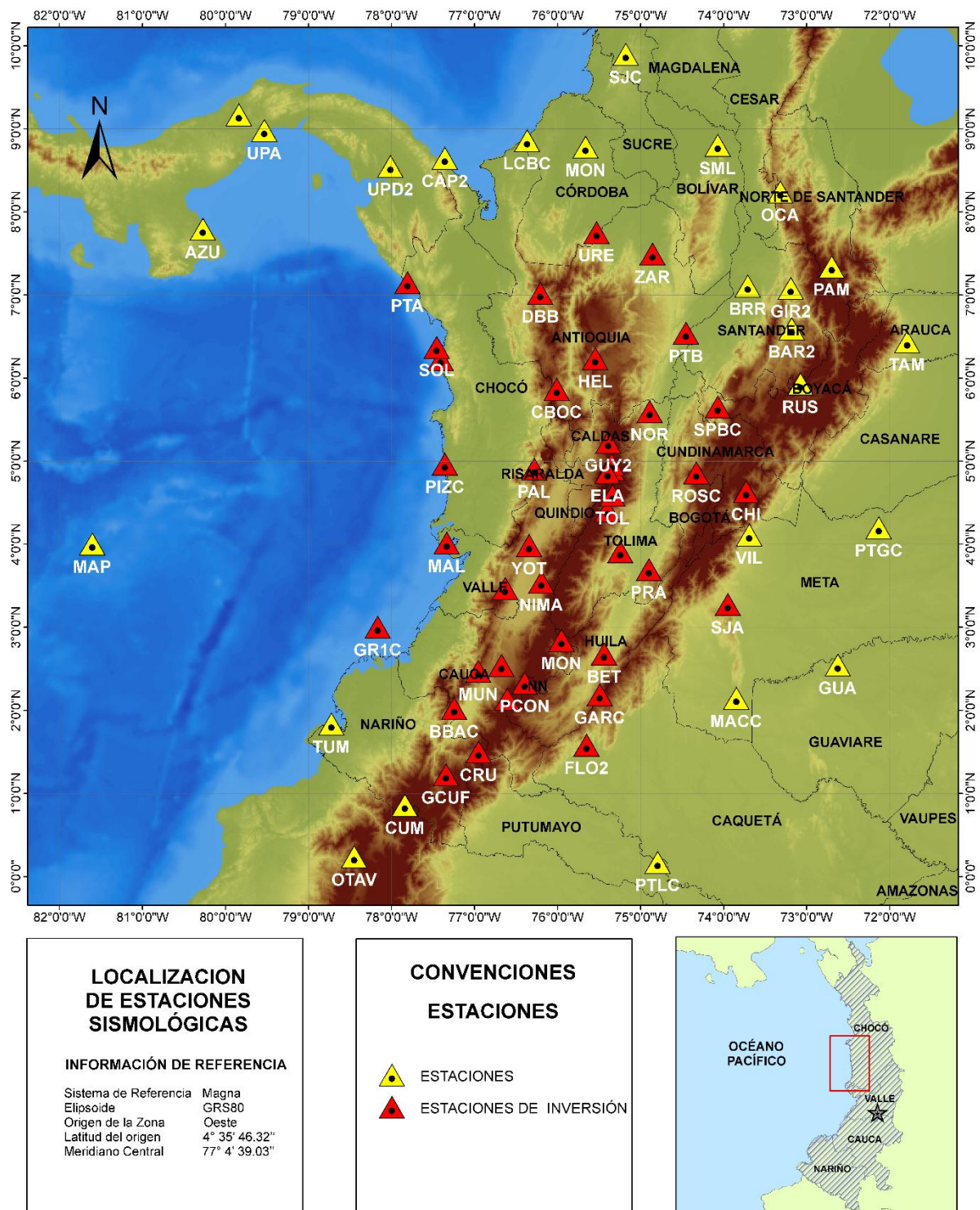


Figura 5 1 Distribución de 67 estaciones sismológicas de la RSNC y demás observatorios, utilizadas en el proceso de relocalización, incluyendo 42 estaciones (triángulos rojos) que corresponden a las utilizadas en la inversiones 1D y 3D. (Fuente: Elaboración propia)

con respecto a la zona de estudio a más de 300 km. Estas estaciones son mostradas en la Figura 5.1 y con mayor detalle en el anexo A, donde se especifica su información instrumental.

## 5.2 Relocalización de eventos sísmicos

Uno de los más importante pasos de cualquier inversión de LED es la selección de datos para la calidad y la distribución geométrica. Para el desarrollo del modelo 1D y 3D de velocidad de onda “P” en el Sector sur del Bloque Chocó, fue necesario contar con una buena distribución de sismos debido al impedimento de un buen despliegue de estaciones sismológicas sobre el área, en especial hacía la costa pacífica, donde el cubrimiento acimutal (GAP) de las estaciones es muy pobre. En este sentido, fue necesario buscar en bases de datos, un catálogo de eventos sísmicos aceptable para la zona de estudio y limitado al cuadrante con Latitud 3,9°N a 6°N y longitud 76,4°W a 78,5°W, que tuviera lecturas de fases de ondas “P” y “S” para sismos Locales y Regionales.

El catálogo de eventos sísmicos fue proveído por la RSNC (Red Sismológica Nacional de Colombia) y contiene una base de datos de 4274 eventos sísmicos entre el mes de Junio de 1993 hasta el mes de Junio de 2016. Esta base de datos ha sido preliminarmente localizada por medio del modelo de velocidad de onda “P” propuesto por (Ojeda y Havskov, 2001) y conocido como el modelo de velocidad 1D de la RSNC, el cual es mostrado en la Figura 5.2 y Tabla 5.1.

*Tabla 5 1 Modelo de velocidad 1D para localización sismos de la RSNC y el OSSO (Observatorio sismológico del Sur Occidente Colombiano) para todo el territorio Colombiano.*

Capa	Velocidad onda P (km/s)	Profundidad (km)
1	4.8	0 - 4
2	6.6	4 - 24
3	7.0	25 - 32
4	8.0	32 - 40
5	8.1	40 - 100
Half space	8.2	

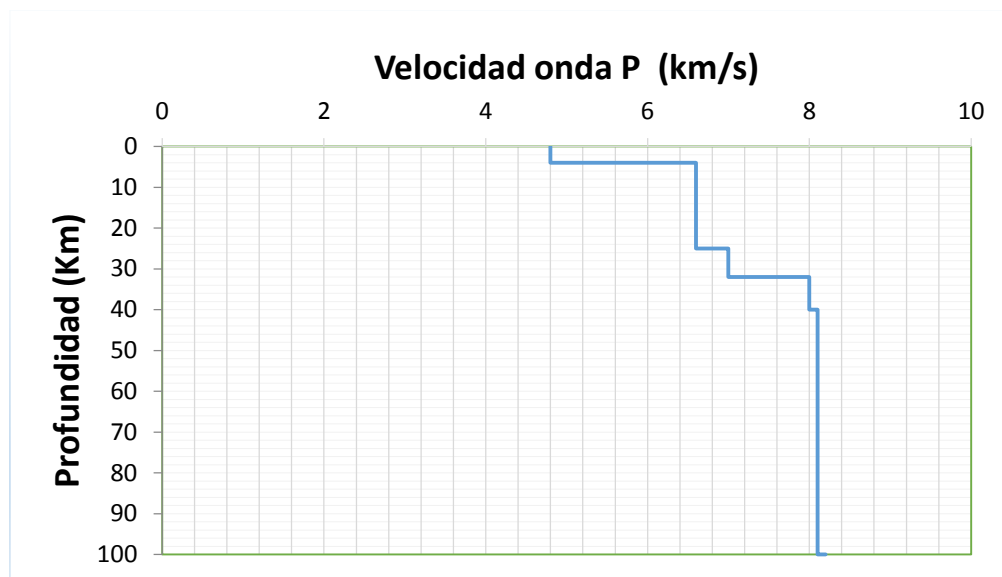


Figura 5.2 Modelo de velocidad 1D para localización sismos de la RSNC y el OSSO (Observatorio sismológico del Sur Occidente Colombiano) para todo el territorio Colombiano.

A partir de los 4274 eventos sísmicos para la zona de estudio, se seleccionaron 1044 sismos de la base de datos, entre el mes de Junio de 1993 hasta el mes de Junio de 2016, cuya ocurrencia fuera superficial ( $h \leq 30$ ) e intermedia ( $30 \leq h \leq 100$ ), garantizando un cubrimiento del trazado de rayos de la fuente al receptor a través de todo el modelo de velocidad que se determinó. Así pues, se tomaron inicialmente sismos con calidad aceptable que tuvieran mayor confiabilidad en la localización, con cubrimiento acimutal ( $\text{Gap} \leq 250$ ), errores hipocentrales relativamente pequeños, número de estaciones que registraron cada evento sísmico ( $n \geq 3$ ) y sismos con claros arribos de onda “P” y onda “S”. La localización de los 1044 eventos sismos previamente seleccionados se muestran en la Figura 5.3.

A continuación, utilizando el modelo unidimensional “General Quindío” como modelo de localización, se realizó el proceso de relocalización con el programa SEISAN de los 1044 sismos, mediante el cual se repicaron fases de primeros arribos de onda “P” y “S” para cada una de las estaciones, con el objetivo de mejorar la localización hipocentral, reduciendo de esta forma los errores hipocentrales y obteniendo mínimos errores en la localización entre todos los tiempos de arribo ( $\text{RMS} \leq 0,1$ ). La mayor parte de las ondas “S” fueron repicadas con pesos de 3 (25% de confiabilidad) por ser fases no muy confiables en el análisis de las trazas sísmicas (Havskov, and Ottemöller, 1999). En general, los errores en las picadas de fases son identificados y ajustados por vista. Este proceso de relocalización permitió, por un lado, actualizar el catálogo de 1044 eventos sísmicos con mejor calidad en la localización hipocentral en comparación al catálogo inicial, y por otro garantizar una buena base de datos previa al proceso de inversión simultánea con el programa VELEST. En la Figura 5.4 se muestra la relocalización para el cuadrante de estudio de los 1044 eventos sísmicos. Así mismo la Figura 5.7 (a-f) muestra estos datos por rangos de forma explícita.

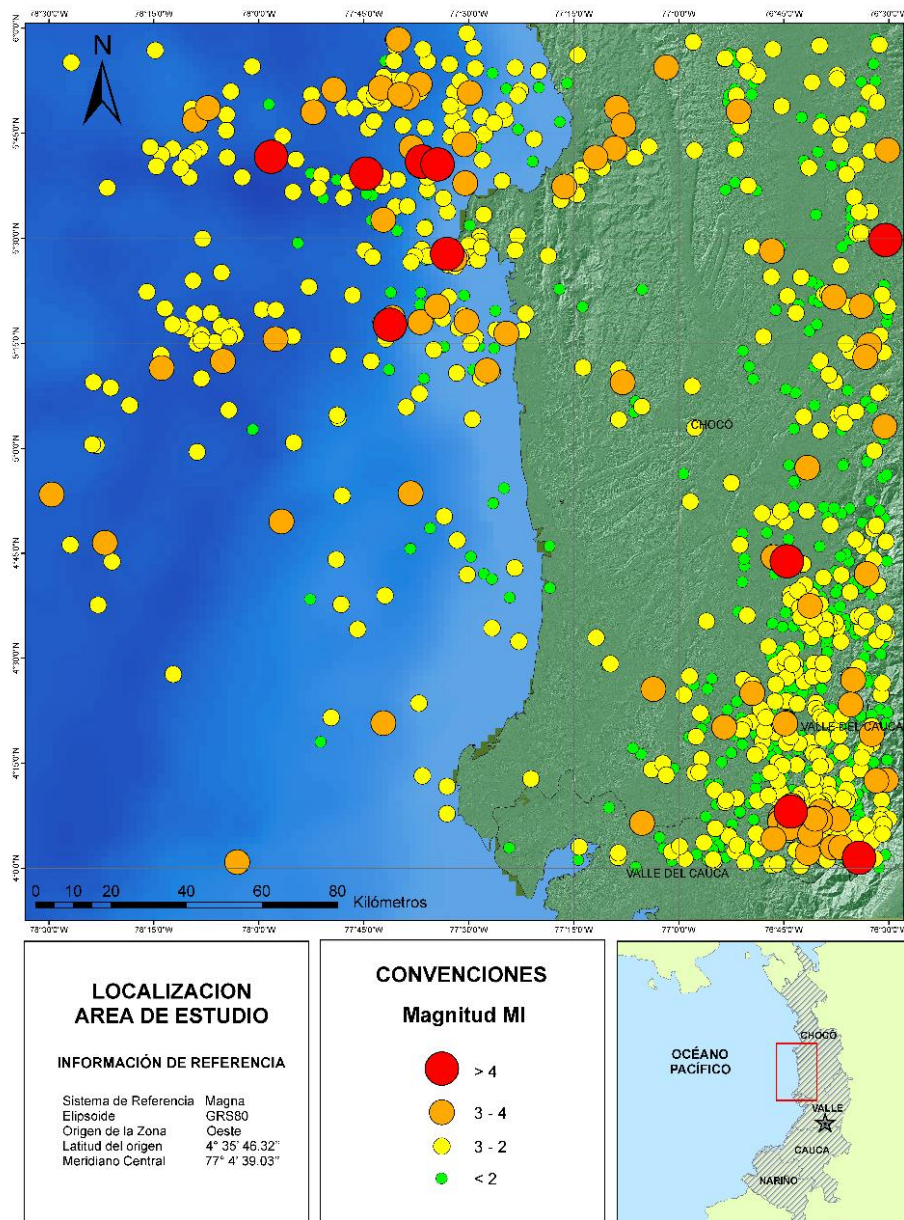


Figura 5.3 Mapa de localización de 1044 eventos sísmicos obtenidos de la RSNC entre el mes de Junio de 1993 hasta el mes de Junio de 2016.

El modelo utilizado para la relocalización de sismos fue el modelo “General Quindío”, proveído por el Observatorio Sismológico de la Universidad del Quindío (OSQ), por ser un modelo regional y en particular estar relativamente cerca al cuadrante de estudio ( $d_{max} \leq 200$  km). En la Figura 5.5 y Tabla 5.2 se muestra el modelo de velocidad utilizado para la relocalización. La validez de este modelo se respalda en varios trabajos previos de inversiones de velocidad (Ospina, 2002; Florez y



Osorio, 2010) y de función receptora (Sabogal y Jaramillo, 2005), obtenidos sobre el departamento del Quindío y el eje Cafetero (Colombia), todos estos a partir de otros trabajos propuestos por (Coral, 1989, citado en Espinosa y Monsalve, 2010) derivados del proyecto Nariño I y II. Este modelo de velocidad de onda “P” ha permitido mejorar la relocalización en el presente trabajo, disminuyendo sustancialmente los errores hipocentrales en comparación con la base de datos previa a la relocalización con el modelo (Ojeda y Havskov, 2001).

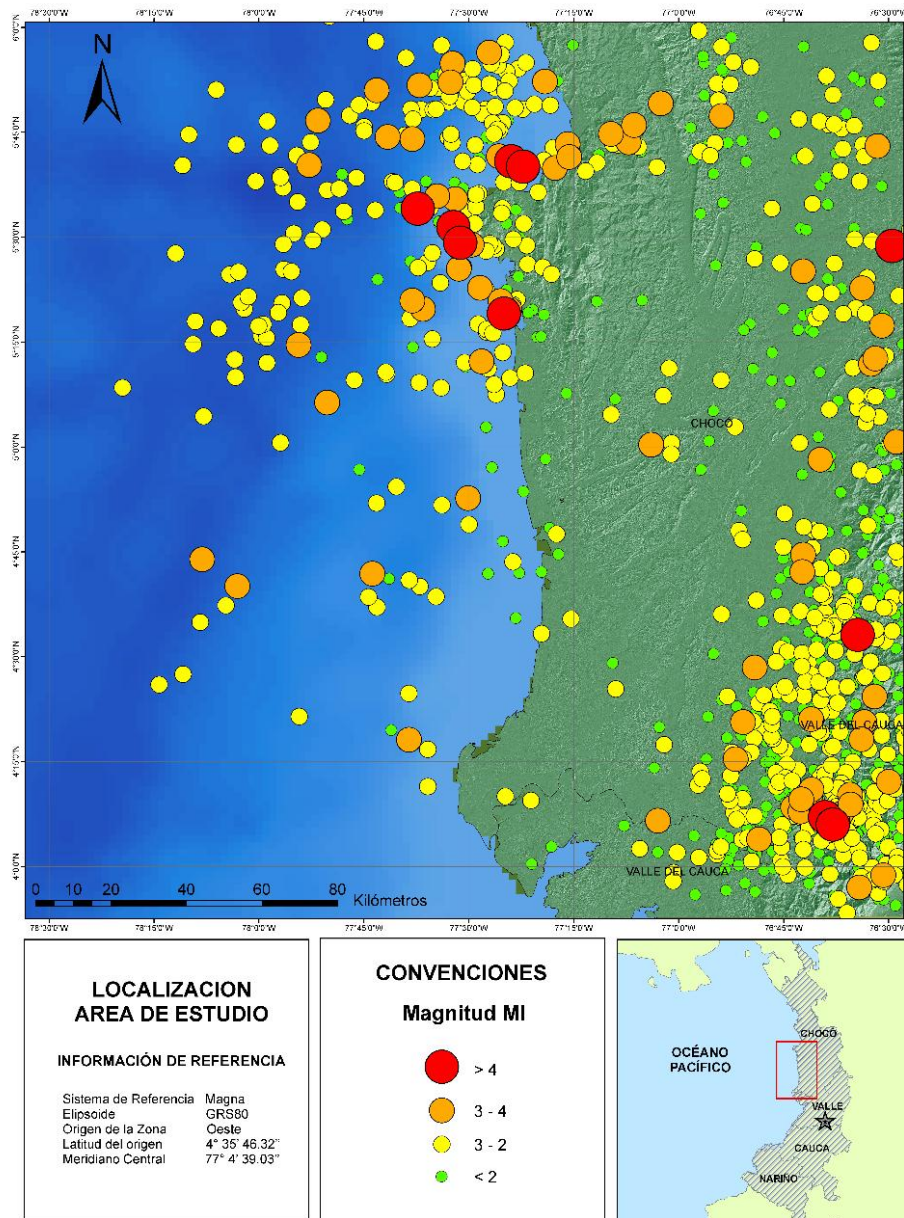


Figura 5 4 Mapa de 1044 eventos sísmicos relocalizado entre el mes de Junio de 1993 hasta el mes de Junio de 2016.

Tabla 5 2 Modelo de velocidad General Quindío utilizado para la relocalización de la base de datos del catálogo de 1044 eventos sísmicos.

Capa	Velocidad onda P (km/s)	Profundidad (km)
1	4.14	0 - 6
2	5.92	6 - 30
3	6.89	30 - 52
4	7.31	52 - 66
5	7.66	66 - 100
Half space	7.89	

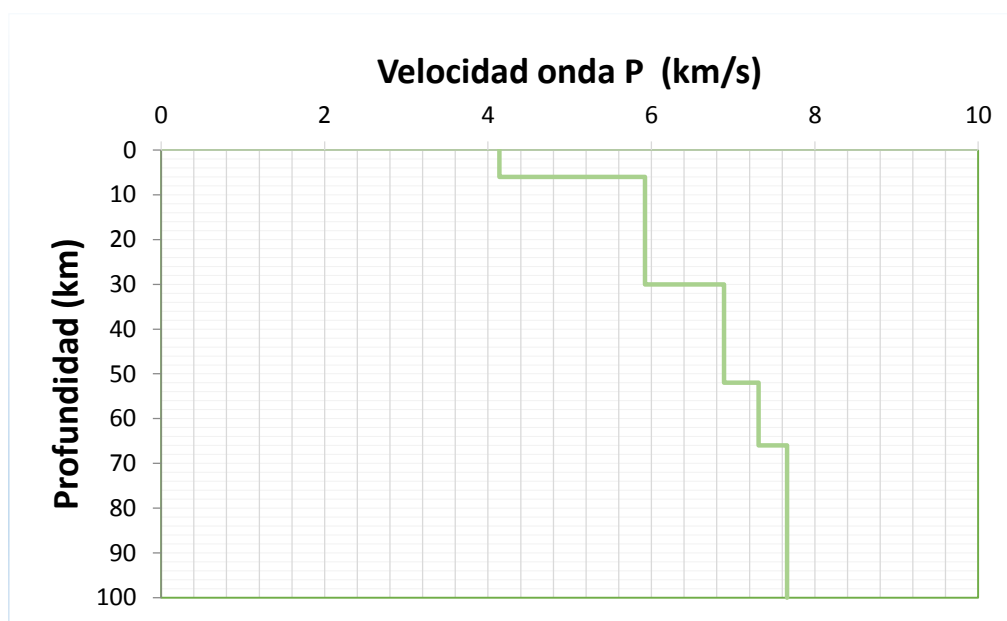


Figura 5 5 Modelo de velocidad General Quindío utilizado para la relocalización de la base de datos del catálogo de 1044 eventos sísmicos.

### 5.3 Diagrama Wadatti

El diagrama de Wadatti establece la relación promedio “ $V_p/V_s$ ” entre la velocidad de la onda “P” con respecto a la velocidad de onda “S” para una región determinada. Esta relación puede ser igualmente obtenida mediante la relación entre los tiempos de arribo de la onda “S” a la estación  $i$ -ésima, menos el tiempo de arribo de la onda “S” a una estación de referencia (igualmente para la onda P), para nuestro caso la estación Yotoco, es indispensable como dato de entrada para el proceso de inversión y obtención del modelo de velocidad 1D con el programa VELEST.

Para determinar este valor, se realizó una selección de 101 sismos en la base de datos de los

1044 eventos relocalizados, con la mejor calidad en los errores hipocentrales, cubrimiento azimutal (Gap), mayor número de estaciones (NST) y determinada magnitud, que cumpliera especialmente con los criterios mostrados en la Tabla 5.3. El anexo B presenta el catálogo de los 101 sismos utilizados para la construcción del diagrama Wadatti.

*Tabla 5 3 Parámetros fijados para la selección de 102 sismos con la mejor calidad para la construcción del Diagrama Wadatti.*

RMS	Gap	Errores Hipocentrales	NST	MI
$\leq 0,1$	$\leq 180^\circ$	$\leq 5 \text{ km}$	$\geq 7$	$\geq 2$

La estación de referencia seleccionada para el área de estudio a partir de los 101 sismos, fue “Yotoco” por contener el mayor número de lecturas con 82 fases de onda “P”, además por ser una estación muy constante dentro del catálogo de eventos sísmicos y presentar fases de arribo de onda “P” y “S” claros. Para la obtención del diagrama Wadatti, las estaciones involucradas debieron contener lecturas de fases de onda “P” y “S” (una sola lectura de fase no servirá) y ser en general estaciones locales a los sismos relocalizados con menos de 300 km.

Por consiguiente, se obtuvieron 113 sismos con respecto a la estación de referencia, con los cuales se realizó un proceso de regresión lineal, donde se obtuvo la recta con la mejor tendencia junto con su pendiente (relación wadatti “Vp/Vs”) la cual es mostrada en la Figura 5.6. El valor obtenido de esta relación wadatti fue de 1,758. Se debe tener presente que los tiempos de viaje de la onda “S” a pesar de ser indispensables para la localización de sismos no son confiables.

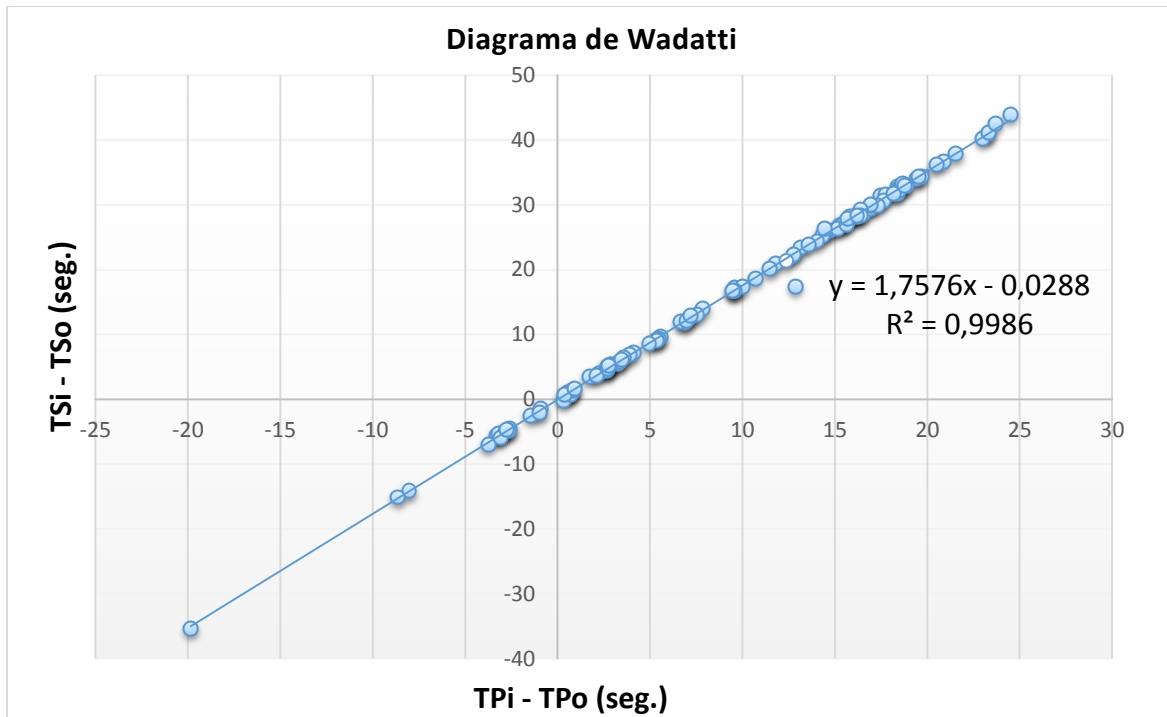


Figura 5.6 Diagrama de Wadatti; datos depurados de diferencias de tiempos de arribo de la onda “S” a la estación *i*-ésima menos tiempo de arribo de la onda “S” a la estación de referencia (Yotoco) (eje Y). Análogamente para la onda “P” (eje X) y su relación  $TS_i - TS_o = 1,758 (TP_i - TP_o)$ .

## 5.4 Base de Datos

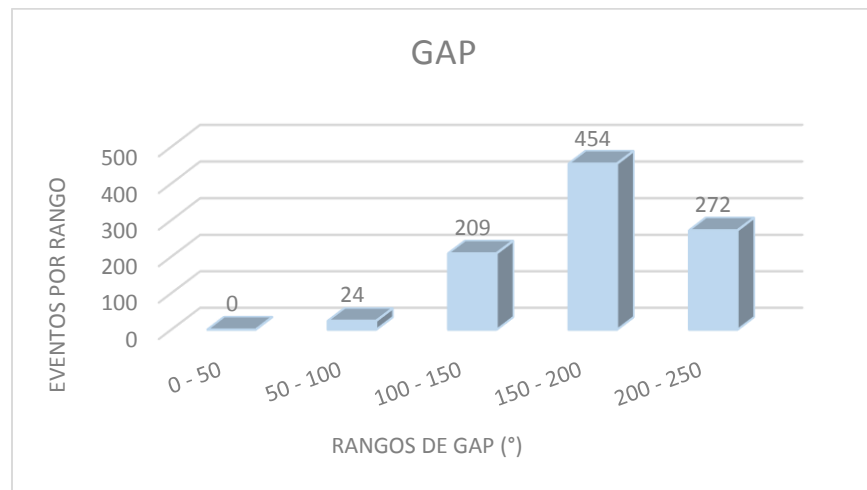
A partir de la base de datos relocalizada de 1044 eventos sísmicos, entre el mes de Junio de 1993 hasta el mes de Junio de 2016, se seleccionaron 959 sismos bajo los parámetros establecidos en la Tabla 5.4 con respecto al valor RMS, el cubrimiento Azimutal (Gap), los errores hipocentrales (ER) y el número estaciones (NST).

La Figura 5.7 (a-f) muestra estos parámetros clasificados por rangos en términos del Gap, Rms, errores hipocentrales y la distribución en profundidad. Especialmente se aprecia una base de datos con  $RMS \leq 0.1$  para el total de los sismos, errores hipocentrales con más del 98,3% por debajo de 12 km y cubrimiento azimutal con el 71,63% por debajo de  $200^\circ$ , lo cual evidencia una mejor localización comparado al catálogo inicial de la RSNC. La distribución de los sismos con la profundidad permite identificar la mayoría a nivel intermedio ( $30 \leq h \leq 100$ ). Esta relocalización, por tanto permite trabajar con una base de datos aceptable para el proceso de inversión del modelo 1-D de velocidad de onda “P” para el cuadrante de estudio, que es uno de los pasos más importantes para cualquier inversión LED (Kissling, 1988).

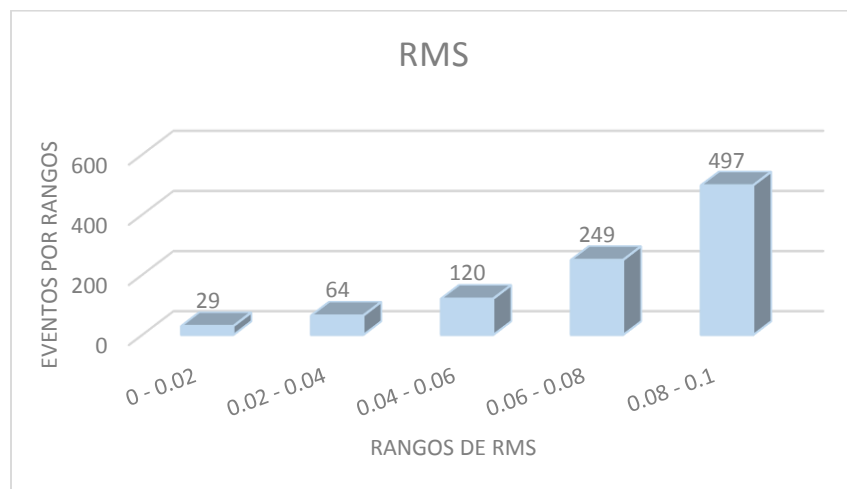


*Tabla 5 4 Parámetros fijados para la selección de 959 sismos utilizados en la inversión para el presente trabajo; el RMS residual de los tiempos de arribo, la distribución azimutal (Gap), los errores hipocentrales y el número de estaciones(NTS) respectivamente.*

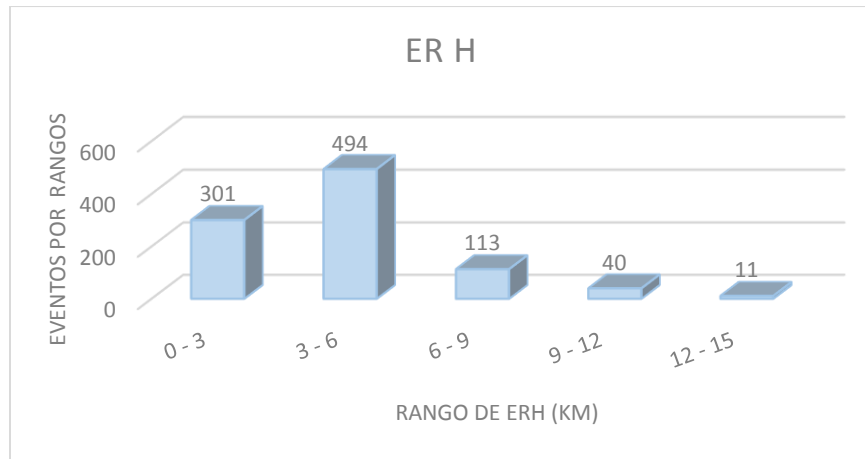
RMS	Gap	Errores Hipocentrales	NST
$\leq 0,1$ s	$\leq 250^\circ$	$\leq 15$ km	$\geq 4$



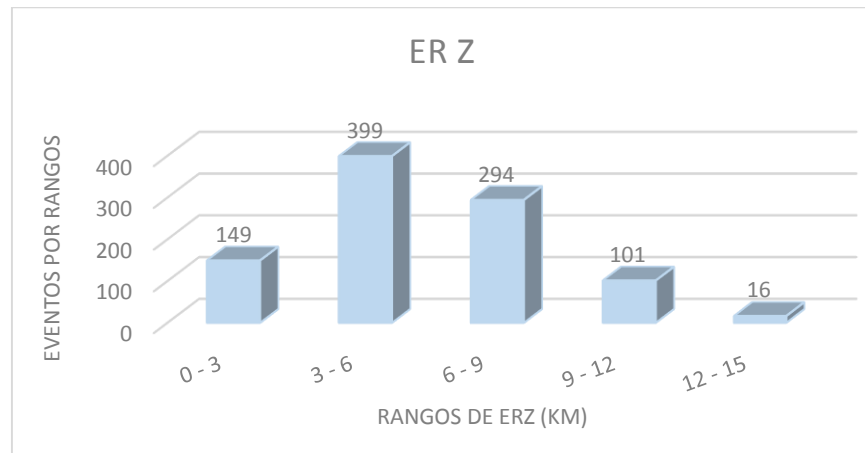
*a) Grafica de GAP por rangos de 959 sismos para el presente trabajo.*



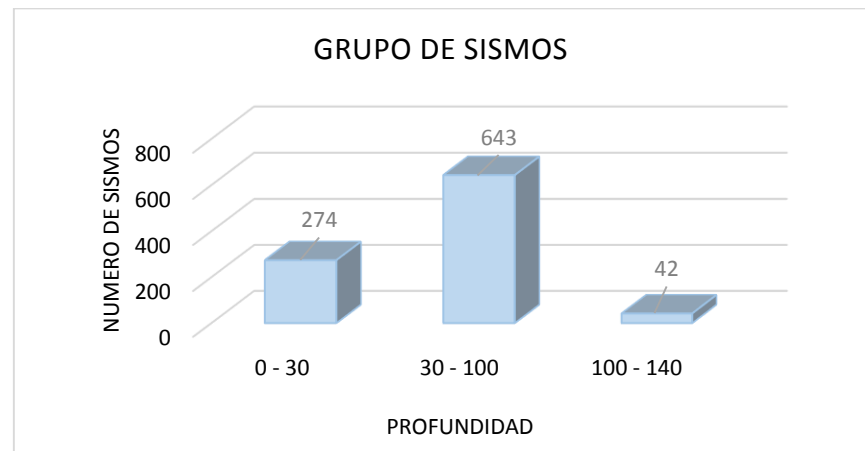
*b) Grafica de RMS por rangos de 959 sismos para el presente trabajo.*



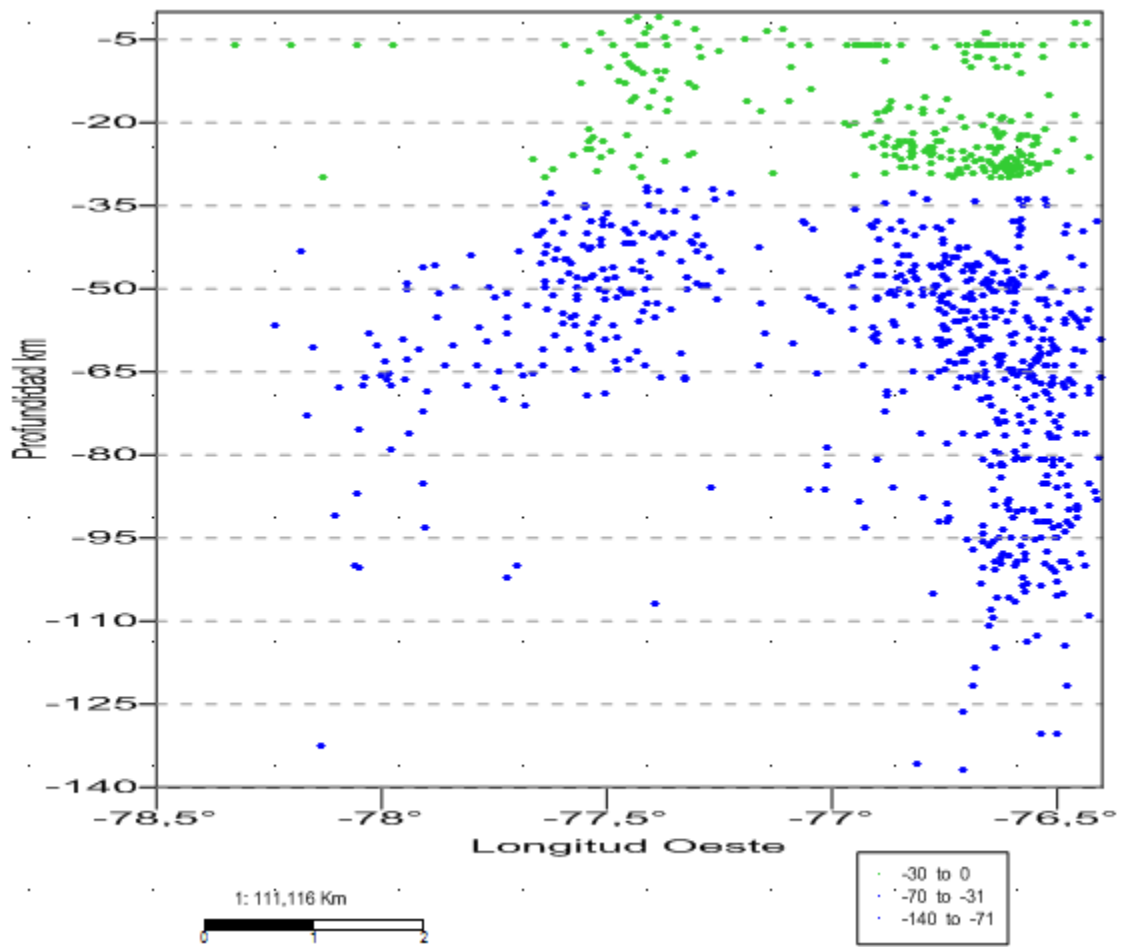
c) Grafica de Errores Horizontales rangos de 959 sismos para el presente trabajo.



d) Grafica de Errores Verticales por rangos de 959 sismos para el presente trabajo.



e) grupo de 959 sismos utilizados según la profundidad para el presente trabajo.



f) Distribución de 959 sismos relocalizados en términos de la profundidad para el volumen de estudio en el presente trabajo. Los círculos indican la sismicidad y el corte está en sentido E-W.

Figura 5 7 (a-f) Gráfica por rangos de la distribución azimutal (Gap), el RMS residual, los errores hipocentrales (ERH, ERZ) y la distribución en profundidad de los 959 eventos sísmicos seleccionados para el proceso de inversión en el presente trabajo.

## 6. Resultados

### 6.1 Modelo de Velocidades

Para la determinación de un modelo de velocidad y en especial el “mínimo modelo de velocidad” planteado por (Kissling et al,1994), inicialmente se debe contar con un buen catálogo de eventos sísmicos de buena calidad, además de una buena recopilación de información previa sobre perfiles de refracción sísmica, estudios geológicos e inversiones previas de velocidad, con la cual a través de un proceso de inversión no linealizada, finalmente se obtiene el mejor modelo promedio de velocidad (el mínimo modelo de velocidad 1D) con un número definido de capas plano horizontales que mejor explican el emplazamiento de roca, la estructura de la corteza interna y coherente con un catálogo de eventos sísmicos para la zona de estudio.

Por tanto, teniendo en cuenta diferentes estudios realizados previamente con respecto a la estructura de velocidad en algunas zonas de Colombia, se utilizó como entrada una gran variedad de modelos corticales tomados del proyecto “modelación función receptora” (Flórez, y Osorio, 2010) que contiene los modelos de localización Nacional, como otros modelos particulares de altas y bajas velocidades. En esta base de datos se encuentran algunos modelos de velocidad de onda “P” como el proveído por el PREM (Lay and Wallace, 1995), Vargas (Vargas et al, 2003), modelo de la RSNC (Franco y Ojeda, 2001; Ojeda y Havskov, 2001), Ocola (Vargas et al, 2003), Dimate, Eje cafetero y Tolima (Flórez, y Osorio, 2010), Piedemonte llanero (Muñoz et al, 2015), entre otros. Así mismo, se obtuvo otros modelos de localización alternativos como el modelo 1D Panamá, el modelo 1D de Cuba Oriental (Clares, Toiron y Rodriguez, 2006) y otros distintos con bajas y altas velocidades entre sus capas como el modelo de velocidad de la región de Aysén en Chile obtenido por (Agurto, 2009).

Análogamente, a partir de estudios de perfiles de refracción sísmica llevados a cabo en el proyecto Nariño I y II, se propusieron otros modelos de entrada basados en los modelos corticales de la Universidad de Kiel y de Wisconsin (Instituto Geofísico - Universidad Javeriana, 1981), los perfiles de refracción sísmica de (Flüh et al, 1981) (Mooney, Meyer, and Laurence,1981), los trabajos sismotectónicos de (Pennington, 1981) y los trabajos geológicos y geofísicos de (Duque, 1990; Bedoya et al, 2009; Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 2011) los cuales proponen una cuenca sedimentaria en promedio entre 0 km hasta 10 km para la cuenca de Atrato- San Juan.

Para otros modelos inicialmente planteados, se parametrizaron variando la velocidad de onda “P” entre valores altos y bajos y cambiando el número de capas, todos hasta una máxima profundidad de 100 km. Los nombres de los modelos utilizados corresponden simplemente a denominaciones para designar los modelos de entrada, sin que estos sean exactamente iguales a los modelos de salida. Los modelos utilizados se encuentran resumidos por nombres en la Tabla 6.3 y con más detalle mostrados en el anexo C.

## 6.2 Determinación del modelo 1D

El procedimiento a seguir para calcular un modelo unidimensional de velocidades con el VELEST es el siguiente: En modo simultáneo o en modo sencillo, en los dos modos el problema es resuelto por trazado de rayos desde la fuente al receptor, calculando el rayo directo, el refractado y el reflejado (opcional) pasando a través del modelo 1D. En ambos modos el problema inverso es solucionado por medio de la inversión total de la matriz de amortiguamiento de mínimos cuadrados, debido a que el problema inverso es no lineal, la solución es obtenida iterativamente (Kissling et al, 1994).

El VELEST ha sido diseñado para permitir gran flexibilidad en la aproximación y por lo tanto un gran número de opciones y parámetros de control deben ser establecidos y debidamente ajustados en el proceso. Sin embargo, el cálculo de un modelo 1D requiere múltiples corridas del VELEST para seleccionar y evaluar los parámetros de control adecuados para el problema (Kissling et al, 1994).

## 6.3 Inversión unidimensional

Para la implementación de la inversión unidimensional, se inició con 53 modelos de velocidad 1D de onda “P” de capas plano paralelas establecidos previamente, y una base de datos de 959 eventos sísmicos con 4615 rayos de onda “P”, con los cuales se efectuó el proceso de inversión no linealizada (programa VELEST), hacia la búsqueda de un modelo de velocidad 1D, que minimizará los errores entre los tiempos de arribo de la onda “P” observados y calculados. En el análisis de inversión se utilizaron 2 parámetros de amortiguamiento  $\lambda$  (ver Tabla 6.1), que mejor mostraron estabilidad durante las pruebas iniciales, el valor “ $V_p/V_s = 1,758$ ” y 99 pasos de iteración para cada inversión. Con respecto a estos modelos de entrada al ser combinados con los 2 parámetros de amortiguamiento, conllevó a un total de 93 modelos de salida invertidos. Dichos modelos se encuentran consignados en la Tabla 6.3 con sus respectivos RMS de la inversión y una base de sismos depurados con cubrimiento azimutal ( $\text{Gap} \leq 230^\circ$ ). Los 0 km de profundidad coinciden con el nivel del mar. El detalle de los modelos de entrada y salida de la inversión de onda “P” se encuentran consignados en el anexo C.

El proceso de inversión simultánea 1D contó con un tiempo total de cómputo aproximado de 279 horas de inversión en ordenadores convencionales para los 53 modelos utilizados. De este modo, dicha inversión permitió barrer mucho más el espacio muestral en comparación con otros trabajos convencionales, donde se ha tenido en cuenta menor número de modelos.

*Tabla 6 1 Parámetros de amortiguamiento para el tiempo de arribo (OTHET), los parámetros hipocentrales (STATHEt) y los parámetros de velocidad (VTHEt), establecidos previamente para el proceso de inversión simultánea en cada modelo.*

Modelo	$\lambda$		
	(amortiguamiento)		
	OTHET	STATHEt	VTHEt
	(Tiempo)	XYZTHEt (Hipocentros)	(Velocidad)
A	0,01	0,01	1
B	0,01	0,01	10

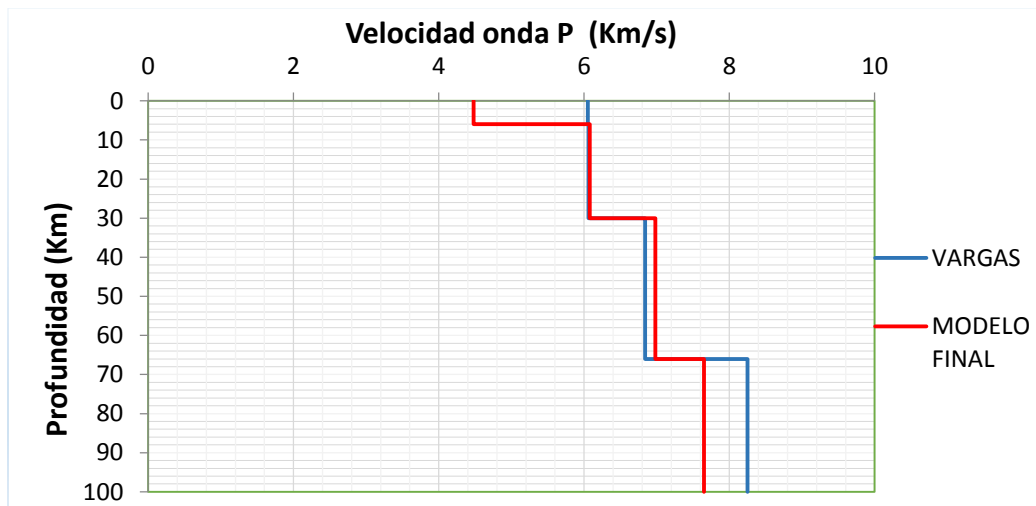
Al momento de realizar las inversiones se tuvo en cuenta algunos criterios y parámetros de control por defecto, señalados en la guía VELEST para la estabilidad de las inversiones y se implementaron lecturas de solo fases de onda “P”, puesto que no se tiene una buena calidad en las lecturas de las ondas “S”. La estación de referencia para todos los procesos de inversión fue “Yotoco” por ser la estación con el mayor número de lecturas de fases como se mencionó anteriormente.

Inicialmente para el proceso de inversión se obtuvieron los primeros modelos, los cuales mostraron no ser totalmente confiables en términos del valor RMS y debido a la poca cantidad de modelos muestreados, se tomaron y crearon otros modelos adicionales con un gran número de capas con profundidades variables que durante el proceso de convergencia se fueron combinando. (Kissling et al, 1994). Equivalentemente, en la medida que se obtenían modelos se reducía el número de capas ya que los estratos adyacentes arrojaban promedios de velocidad muy similares. Esto con el fin de verificar su validez, confiabilidad y estabilidad, en busca de mejorar los modelos. Al final el mínimo modelo 1D emerge de este proceso teniendo como parámetro principal el error RMS (raíz media cuadrática) de la inversión.

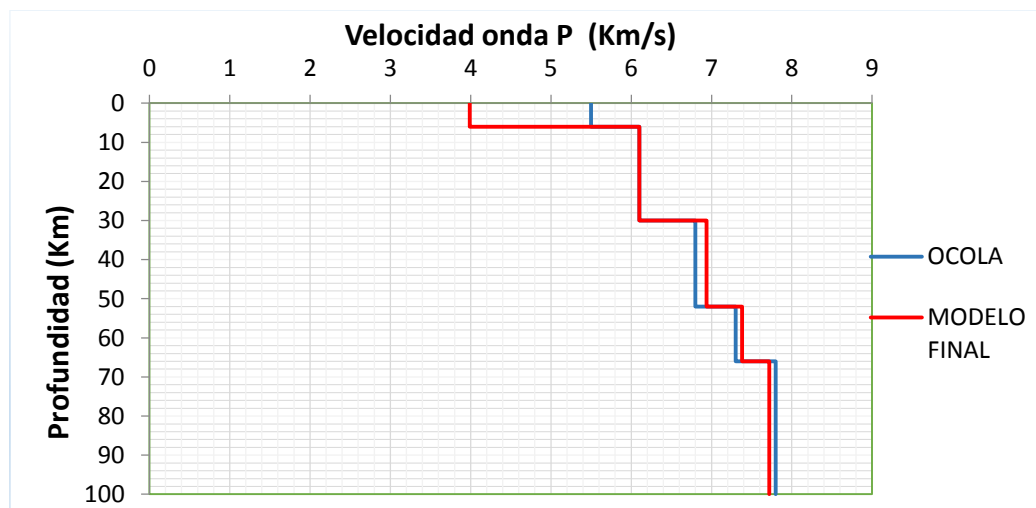
De la inversión realizada, la mayoría de los modelos obtenidos a partir de modelos como el de Vargas, Eje Cafetero, General Quindío, Ocala, OSQ, Msupaltas, Tolima, Ojeda 2011(OSSO), Cuba Oriental, PREM, Escalalt, Panamá, Fluh, Salcedo, Monsalve, Aysen (Chile), MBloqaltas, Fluh, Mooney, Pennington entre otros, presentan una notable convergencia hacia un modelo de velocidad de onda “P” particular, en el cual la profundidad entre 0 km - 6 km y de 6 km - 30 km parece corresponder a un mismo promedio de velocidad tal como se aprecia en algunos modelos consignados en la Figura 6.1 (a-f) y en el anexo C. Igualmente, para profundidades entre 30 km hasta 50 km y desde 50 km hasta 70 km se observa también promedios iguales de velocidad para la onda “P”.

Esta convergencia permite estar de acuerdo con la metodología de inversión planteada por

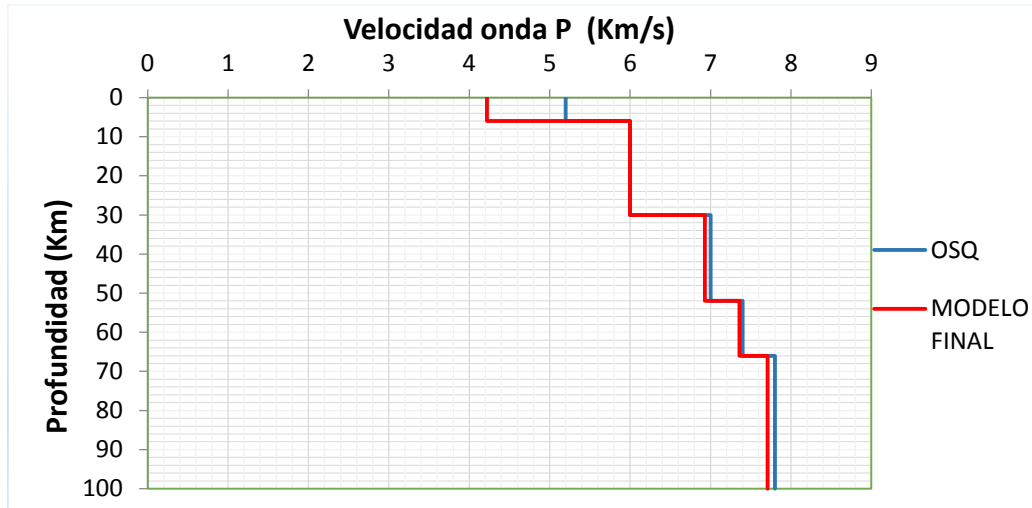
(Kisslin et al, 1994) incluso para modelos de entrada altamente arbitrarios como Escalbaj, los cuales convergen a un modelo particular, siempre que exista un buen catálogo de eventos sísmicos. Posiblemente esta convergencia sea coherente con el emplazamiento de roca para la zona de estudio. De acuerdo a las inversiones realizadas y al comportamiento observado en la convergencia en el proceso de inversión simultánea, indican el aumento en el valor de la velocidad con respecto a la profundidad, sin la existencia de bajas velocidades de roca continental (6,1 km/s) por debajo de un complejo ígneo de altas velocidades (6,8 km/s) tal como lo propone (Flüh et al, 1981). Igualmente, con la mayoría de los procesos de convergencia, se observa cambios importantes en la velocidad “Vp” alrededor de los 27 km a 30 km de profundidad, lo que posiblemente correspondería al promedio de la discontinuidad de Mohorovičić, muy común a estas profundidades alrededor del planeta en zonas costeras (Tarbuck and Lutgens, 2005; PREM; Preliminar Reference Earth Model, Lay, and Wallace, 1995) y de manera similar a valores obtenidos por (Florez, y Osorio, 2010; Franco y Ojeda, 2001; Muñoz et al, 2015) ver Figura 6.4.



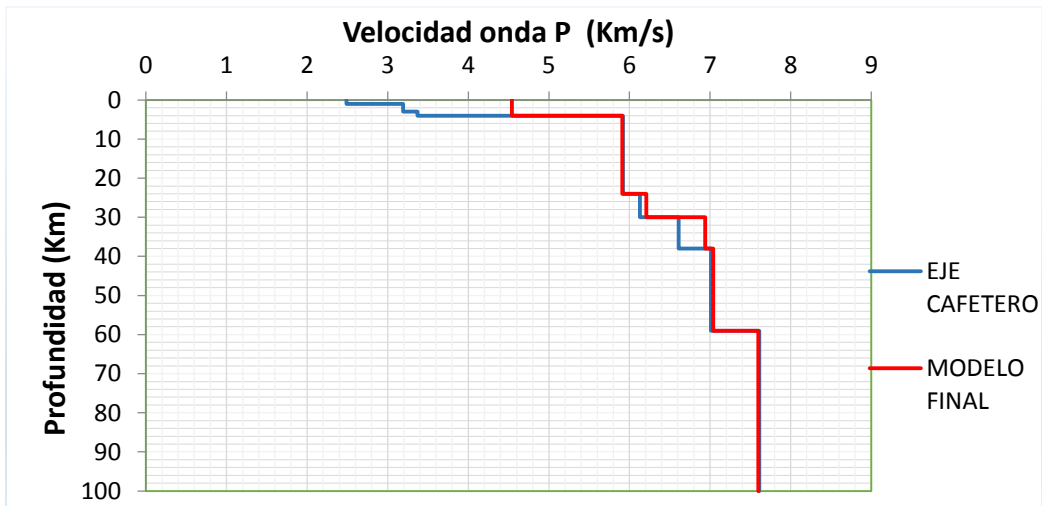
a) Gráfica del modelo de entrada (Vargas, 2003) y el modelo final obtenido en este trabajo.



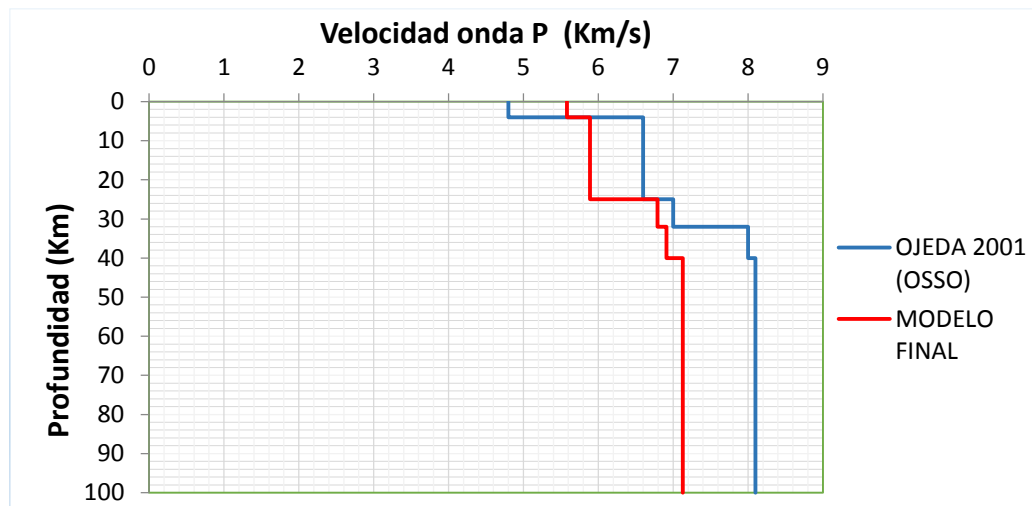
b) Gráfica del modelo de entrada (Ocola tomado de Florez, y Osorio, 2010) y el modelo final obtenido en este trabajo.



c) Gráfica del modelo de entrada (OSQ, Florez, y Osorio, 2010) y el modelo final obtenido en este trabajo.

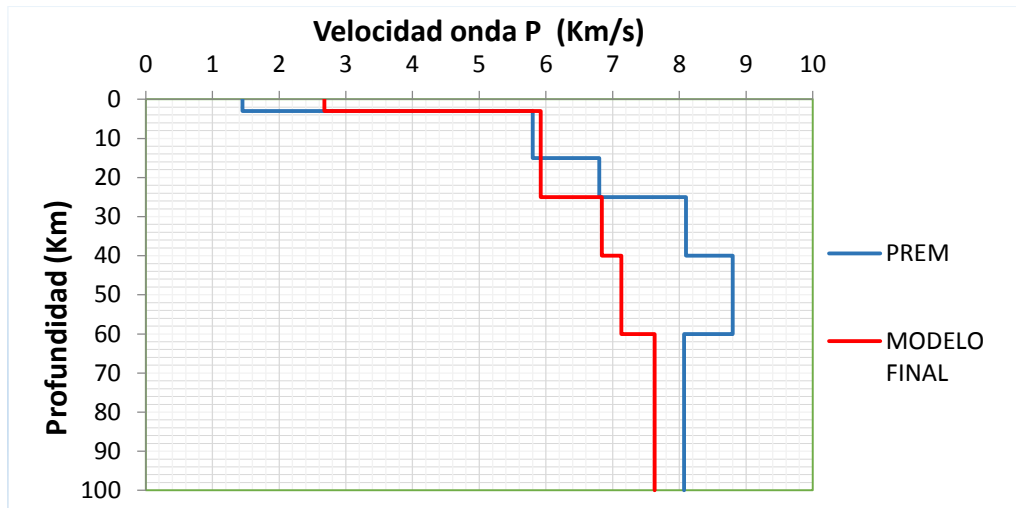


d) Gráfica del modelo de entrada (Eje Cafetero, Florez, y Osorio, 2010) y el modelo final obtenido en este trabajo.





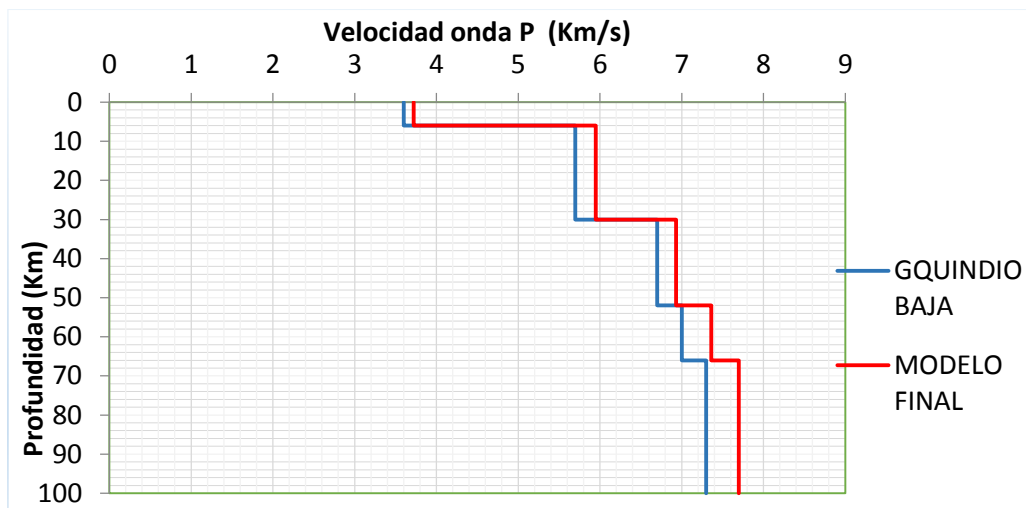
e) Gráfica del modelo de entrada (Ojeda y Havskov, 2001) y el modelo final obtenido en este trabajo.



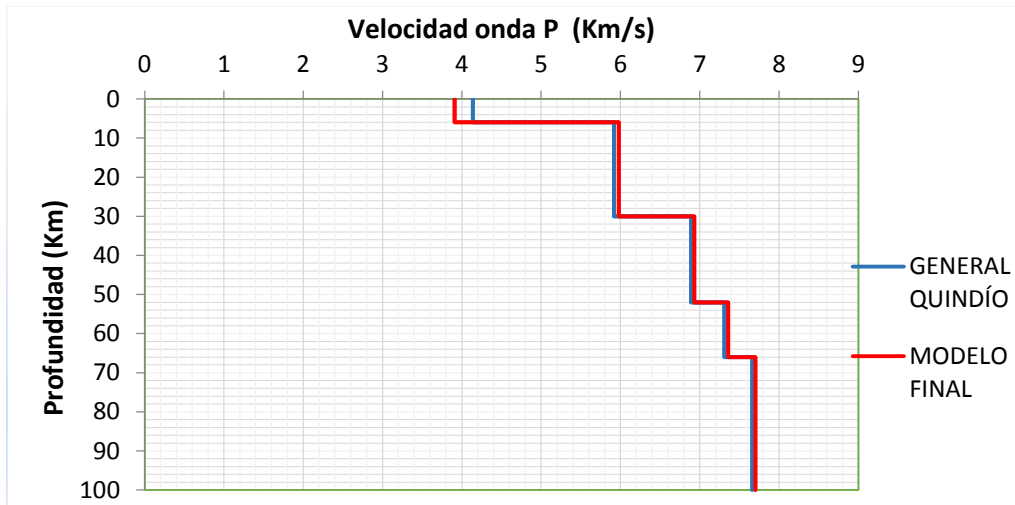
f) Gráfica del modelo de entrada (PREM, Lay, and Wallace, 1995) y el modelo final obtenido en este trabajo.

Figura 6. 1 (a-f) Gráficas de algunos modelos obtenidos de velocidad 1D en el presente trabajo, en comparación con algunos modelos representativos de entrada de otras inversiones.

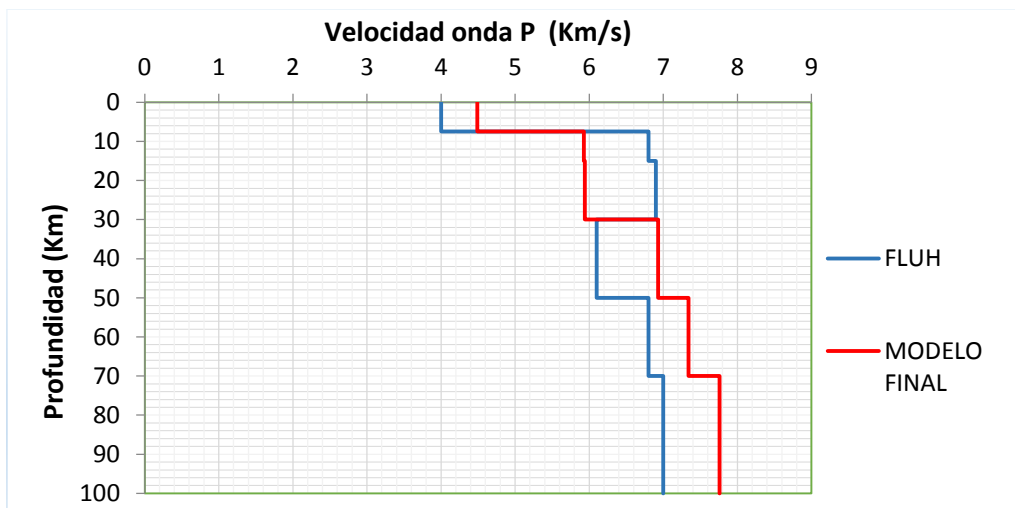
De los 53 modelos finalmente obtenidos (93 modelos con variación en el parámetro de amortiguamiento  $\lambda$  en distintos modelos), se han escogidos los 8 mejores en términos de su menor RMS, los cuales están consignados en las 8 primeras casillas de la Tabla 6.3 (casillas azules) y mostrados en las Figuras 6.2 y 6.3. En estas gráficas se evidencia el proceso de convergencia a un modelo, con promedios de velocidad de onda “P” similares con respecto a la profundidad. Para mayor detalle consultar anexo C.



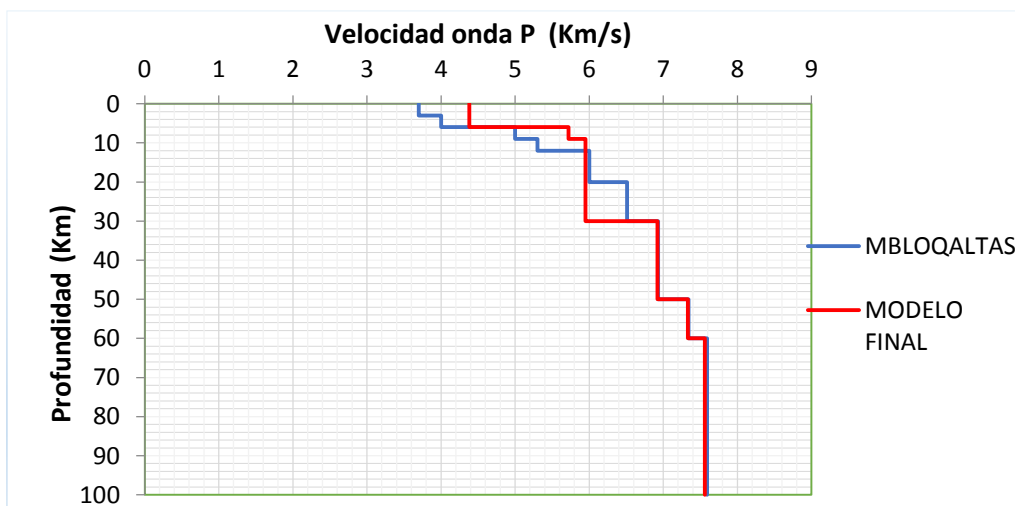
a) Gráfica del modelo de entrada (Gquindiobaja) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo.



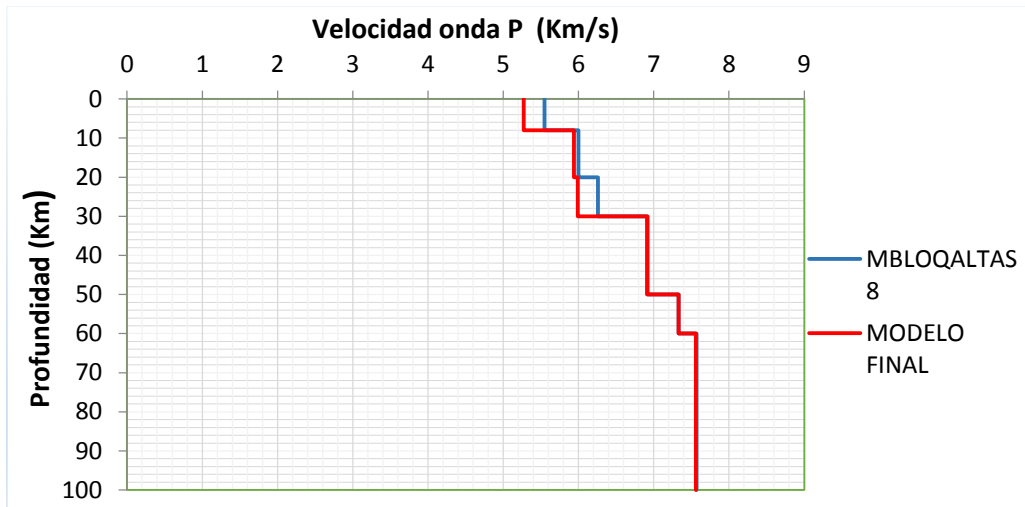
b) Gráfica del modelo de entrada (General Quindío) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo.



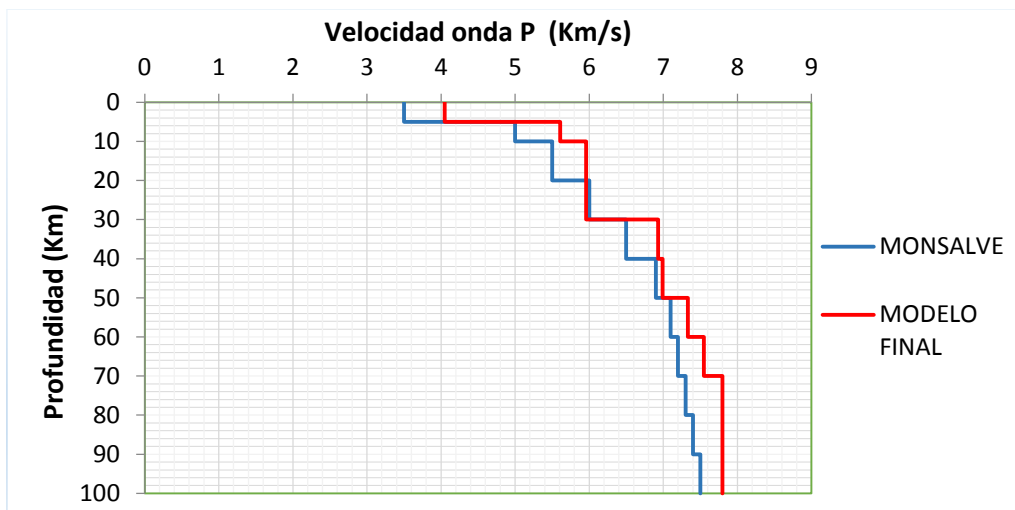
c) Gráfica del modelo de entrada (Flüh) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo.



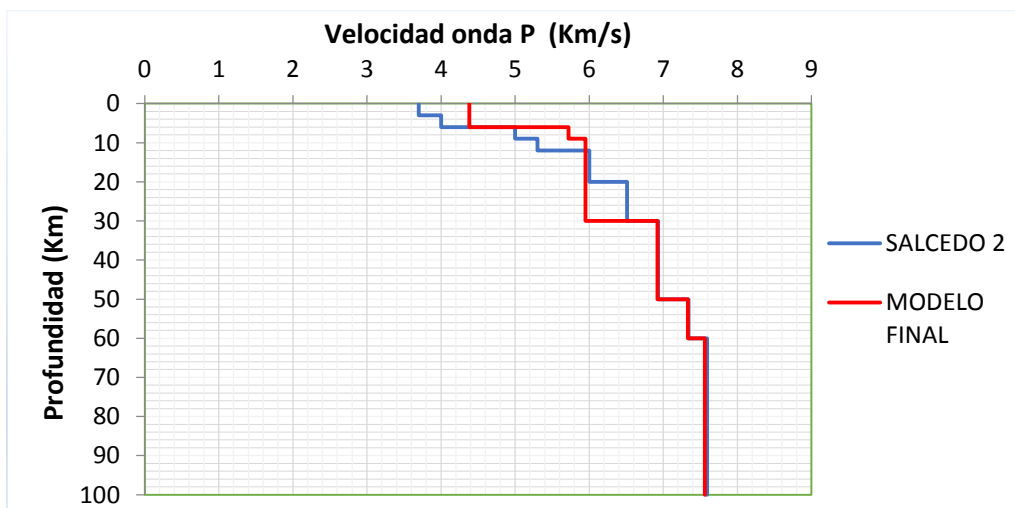
d) Gráfica del modelo de entrada (Mbloquentas) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo.



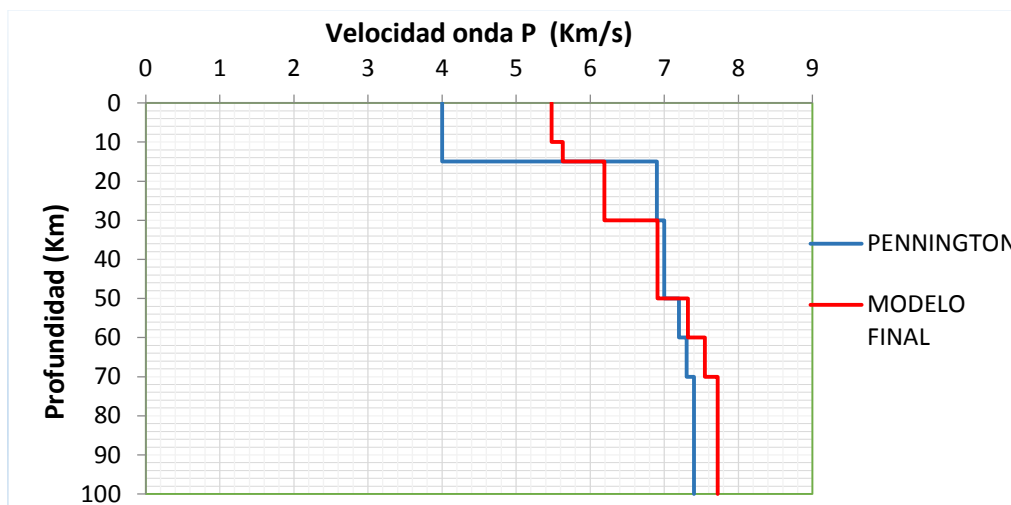
d) Gráfica del modelo de entrada (Mbloqaltas 8) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo.



e) Gráfica del modelo de entrada (Monsalve) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo.



f) Gráfica del modelo de entrada (Salcedo 2) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo..



g) Gráfica del modelo de entrada (Pennington) comparado con el modelo final obtenido en este trabajo.

Figura 6. 2 Mejores 8 modelos de velocidad (rojo) en la inversión simultánea, obtenidos en el presente trabajo y comparados con los modelos de entrada (azul) propuestos inicialmente.

Finalmente, se finiquitó el proceso de inversión al obtener un notable decremento de los valores en los RMS sin encontrar mejora, además cuando los valores de velocidad en los modelos se mantuvieron estables en las iteraciones. Al final de cierto número de inversiones se obtiene una base de datos de mejor calidad en los registros, que mejor se adecuan al modelo encontrado. Todos los modelos finales se encuentran especificados en la Tabla 6.3, dejando una base de datos de eventos sísmicos depurada a sismos aceptables y buenos en términos del Gap, RMS y los errores hipocentrales, comparado al catálogo relocalizado en el presente trabajo. La calidad de la localización y en general de estos parámetros hipocentrales es respaldada por la propuesta de (Lee and Lahr, 1972) con el programa HYPO71 para localización de sismos, en la que establece una calificación como se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6 2 Información de Calificación propuesta en el programa HYPO71 para evaluación de las soluciones en la localización. (Fuente: HYPO71; Lee and Lahr, 1972).

RMS (s)	ERH (km)	ERZ(km)	Calificación localización
$\leq 0.15$	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	Muy buena
$\leq 0.30$	$\leq 2.5$	$\leq 5.0$	Buena
$\leq 0.50$	$\leq 5.0$	Otros	Aceptable
Otros	Otros	Otros	Mala
N° Fases	GAP	D. mínima (km)	Calificación localización
$\geq 6$	$\leq 90^\circ$	$\leq \text{Prof. o } \leq 5.0$	Muy buena
$\geq 6$	$\leq 135^\circ$	$\leq 2 \times \text{Prof. o } \leq 10.0$	Buena
$\geq 6$	$\leq 180^\circ$	$\leq 50.0$	Aceptable
Otros	Otros	Otros	Mala

Tabla 6 3 Modelos de velocidad 1D, utilizados en el proceso de inversión simultánea con sus respectivo RMS finalmente obtenido y una base de sismos depurada con cubrimiento azimutal ( $\text{Gap} \leq 230^\circ$ ).

Modelo					
N°	Modelo de Entrada	RMS	N° SISMOS	RMS	N° SISMOS
		A ( $\lambda$ )		B ( $\lambda$ )	
1	GQUINDIOBAJA (NUQUÍ)	0,047946	823	0,047792	823
2	GENERAL QUINDIO	0,049078	821	0,047887	821
3	FLUH	0,047908	826	-----	-----
4	MBLOQALTAS	-----	-----	0,048128	828
5	MBLOQALTAS 8	0,048894	825	0,048737	825
6	MONSALVE	-----	-----	0,048792	826
7	SALCEDO2	0,048803	826	0,048898	826
8	SALCEDO	0,048823	826	0,053728	826
9	PENNINGTON	0,53687	823	0,048894	826
10	SALCEDO 3A	0,048832	825	-----	-----
11	RSNC MODIFICADA	0,069583	826	0,069203	827
12	VARGAS	0,054582	823	0,054381	823
13	OCOLA 7	0,053155	823	0,051802	824
14	OSQ	0,051552	822	0,049283	822
15	MSUPALTAS	0,051565	822	0,049283	822
16	ESCALALT	0,059826	822	0,059719	822
17	MPROFALTAS	0,081779	819	0,081666	819
18	MBLOQALTAS	0,049921	826	0,051483	825
19	OJEDA MOD	0,073521	822	0,067157	825
20	TOLIMA	0,051621	822	0,049200	822
21	EJE CAFETERO	0,051376	823	0,051514	824
22	SUBDUCCION	0,084714	816	0,084058	815
23	DIMATE	0,069738	824	0,069153	825
24	VARGAS 2	0,056155	824	0,055668	824
25	OCOLA 2	0,057576	824	0,05743	824
26	OJEDA 2001 (OSSO)	0,063267	823	0,063193	824
27	ESCALBAJ	0,059573	821	0,059082	820
28	OSSO 2	0,060781	822	0,059072	822
29	BLOQBAJAS	0,049271	821	0,050385	823
30	OSSO1	0,066279	822	0,063319	822
31	RARO 1	0,072799	821	0,073215	821
32	GQUINDIOALTA	0,051858	822	0,049449	822
33	PANAMA	-----	-----	0,058072	819
34	PREM	0,060868	824	0,055705	824
35	MSUPBAJAS	0,088918	827	0,088923	827
36	MPROFBAJAS	0,081107	816	0,081133	816

37	MONSALVE	0,051595	822	0,049212	822
38	MONSALVE 3	-----	-----	0,049072	825
39	LINDO	0,053428	823	0,053455	823
40	CUBA ORIENTAL	-----	-----	0,075728	825
41	CHILE AYSÉN	0,050561	825	0,050415	825
42	PIEDEMONTÉ	-----	-----	0,073835	825
43	230	0,054154	822	0,054739	822
44	OCOLA 4	0,053343	823	0,053419	823
45	OCOLA 5	0,068681	821	0,070455	821
46	MONSALVE 8	-----	-----	0,054414	825
47	BLOQBAJAS 8	0,049804	824	0,04933	824
48	BLOQBAJAS 10	-----	-----	0,04984	827
49	MOONEY 2	-----	-----	0,051762	827
50	MOONEY 3	0,052203	826	-----	-----
51	MBLOQALTAS10	-----	-----	0,048128	827
52	MBLOQALTAS8	0,048894	825	0,048737	825
53	BLOQBAJAS8	0,049804	825	0,04933	825

## 6.4 Modelo Final 1D

Con los 53 modelos de salida (93 modelos con variación del amortiguamiento  $\lambda$ ) se seleccionaron los mejores de éstos, los cuales son muy similares y posiblemente definen la geometría de la corteza y manto para la zona de estudio tal como se muestra en las Figuras 6.2 y 6.3. Las velocidades en cada capa muestran un patrón de convergencia a valores promedios de velocidad  $V_p$ . En este sentido para la escogencia del mejor modelo se tuvo en cuenta el menor RMS de la inversión conjunta, tal como lo plantea (Kissling et al, 1994) y una base de datos con la mayor cantidad de sismos depurados. En la medida que los valores RMS en un proceso de inversión sean más pequeños implicará que el modelo se adecúe más a los datos observados. Por consiguiente, el mejor modelo seleccionado (el mínimo modelo 1D) fue el “modelo NUQUÍ” (nombre asignado arbitrariamente) inferido del modelo de entrada “GQUINDIOBAJA” al obtener el menor RMS de la inversión 0,047792 y 959 sismos depurados tal como se muestra en la Tabla 6.4 y Figura 6.4. Este mínimo modelo de velocidad de onda “P” posee el mismo número de capas (5) comparado con el modelo (Ojeda y Havskov, 2001), pero con grandes variaciones en la velocidad y una disminución mayor en el valor RMS (ver Tabla 6.3). Con respecto al modelo “General Quindío” no se obtiene cambios significativos excepto para los primeros 6 km de profundidad, en la cual la velocidad “ $V_p$ ” es mucho más baja para el modelo obtenido.

Este modelo permite estar acorde con otros modelos como General Quindío, OSQ, MBLOQALTAS y Vargas, 2003, en comparación al modelo (Ojeda y Havskov, 2001). Por otro lado el valor RMS obtenido en el presente trabajo muestra un valor mínimo RMS en la inversión

conjunta, si se compara con otros trabajos como (Ojeda y Havskov, 2001; Franco y Ojeda, 2001) en la cual utilizan otro tipo de datos sísmicos y en un área mucho mas extensa. La Figura 6.5 se muestra el proceso de inversión simultánea del RMS en función de los 99 pasos de iteración para este mejor modelo, donde se identifica el mínimo global y el proceso de convergencia. Asimismo, el anexo D permite mostrar el catálogo de los 959 eventos sísmicos invertidos donde se aprecia el mejoramiento en la localización y acorde en gran medida con la Tabla 6.2 de calificación en la localización.

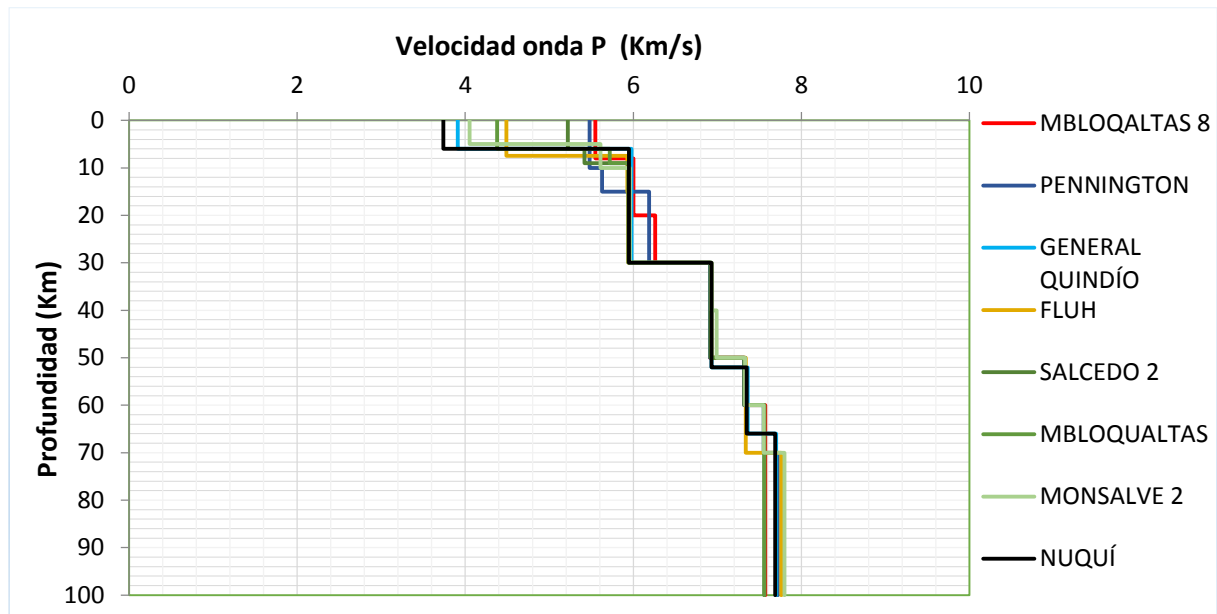


Figura 6. 3 Graficas de los 7 mejores modelos de velocidad de onda P comparados con el mejor modelo obtenido "NUQUÍ" (negro)

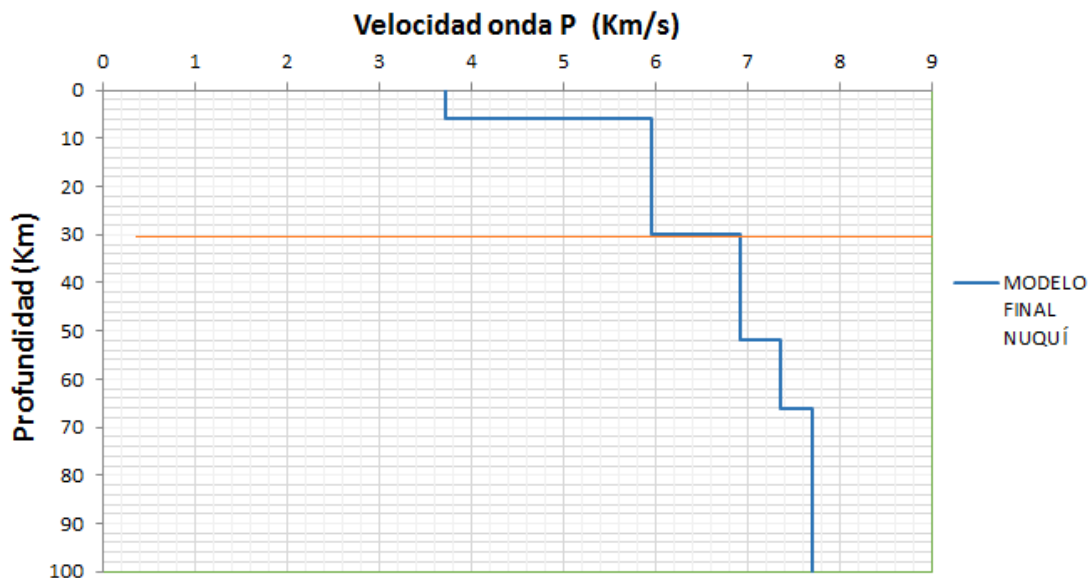


Figura 6. 4 Gráfica del modelo final 1D de velocidad "Vp" (NUQUÍ) hallado para el presente trabajo.

Tabla 6 4 Modelo final 1D de velocidad “Vp” (NUQUÍ) hallado para el presente trabajo. El modelo final está definido por el promedio de RMS más bajo.

Capa	Velocidad onda P (km/s)	Profundidad (km)
1	3.74	0 - 6
2	5.95	6 - 30
3	6.93	30 - 52
4	7.35	52 - 66
5	7.69	66 - 100
Half space	7.69	

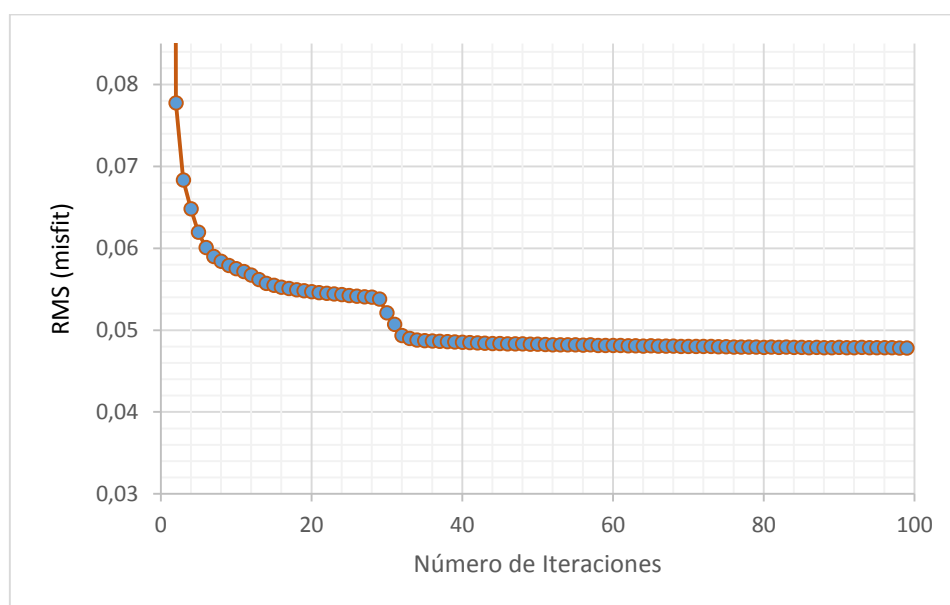
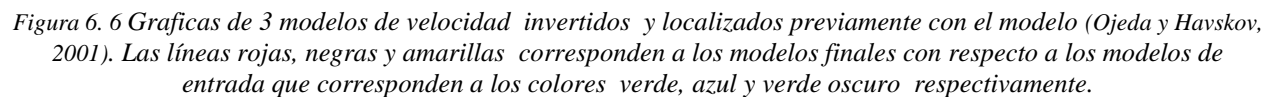


Figura 6. 5 Proceso de iteración de la inversión simultánea para el mejor modelo de velocidad seleccionado “NUQUÍ” del RMS en función de las 99 iteraciones.

## 6.5 Validación del modelo 1D (comprobación de resultados)

Con el objetivo de validar el modelo “NUQUÍ” obtenido en el presente trabajo, la base de datos de los 959 eventos sísmicos fue nuevamente relocalizada con el modelo de la Red Sismológica Nacional (Ojeda y Havskov, 2001), obteniendo una base de datos de 914 sismos con  $RMS \leq 0,5$  y errores hipocentrales  $\leq 20$  km. A pesar del aumento en el error de la localización hipocentral, se realizó nuevamente el proceso de inversión simultánea con tres modelos de prueba, los cuales permitieron converger nuevamente a un modelo promedio similar al modelo final





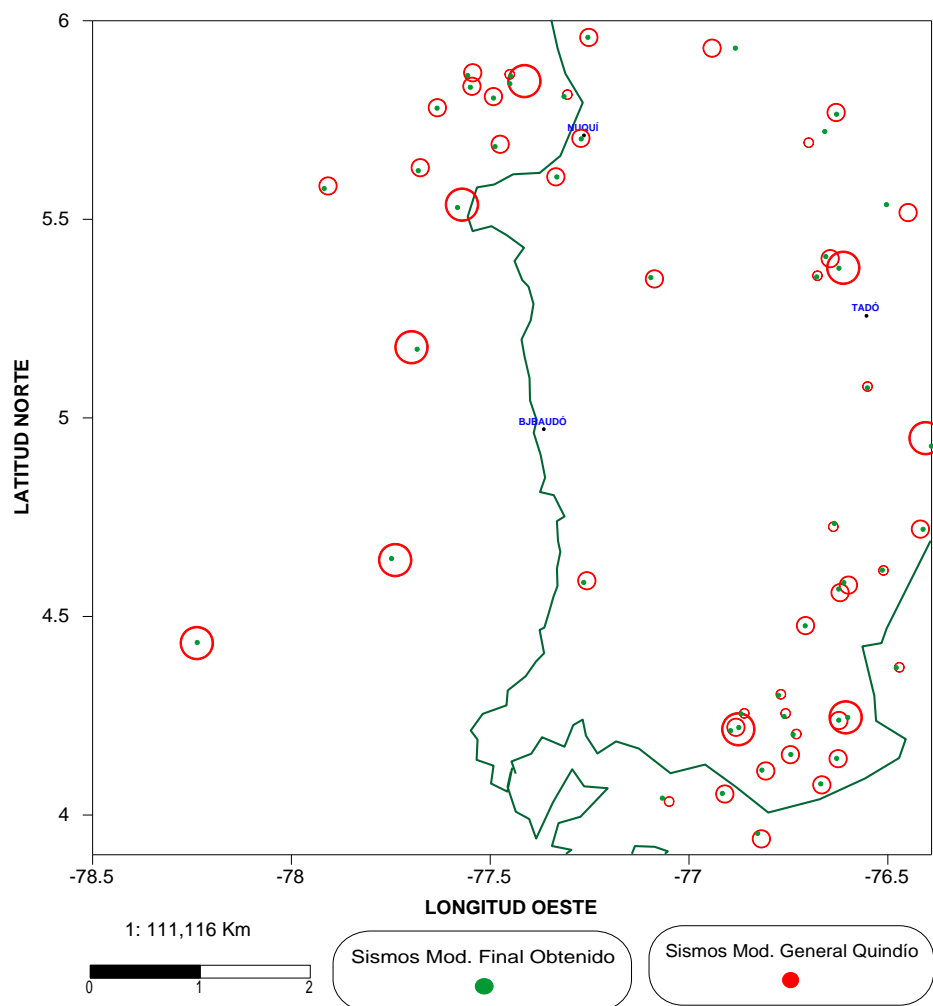
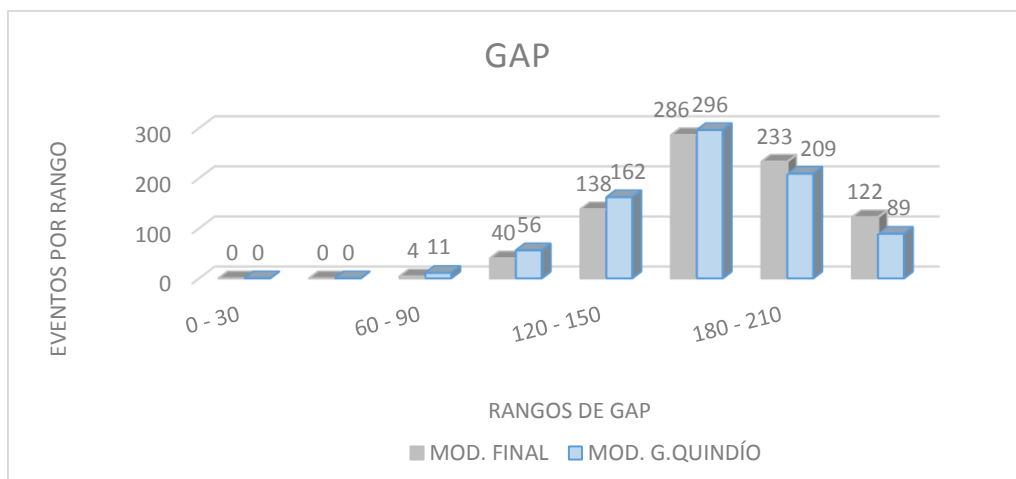
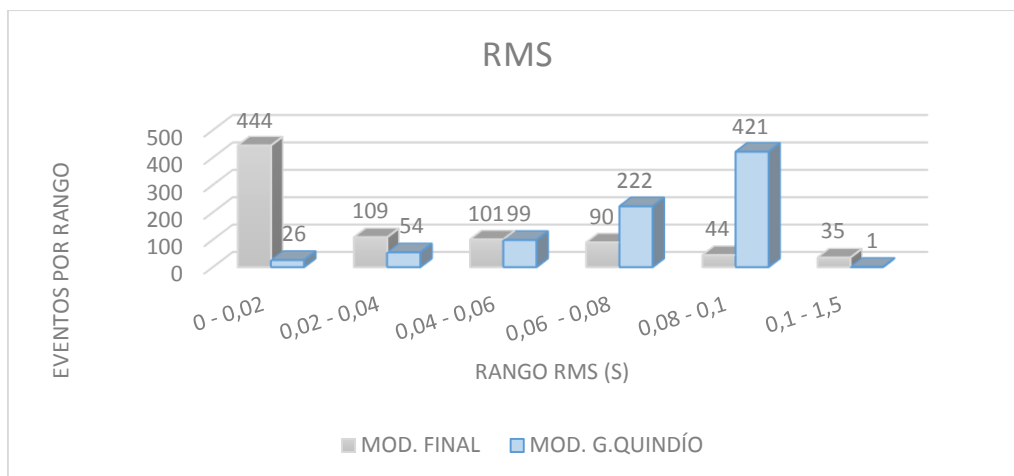


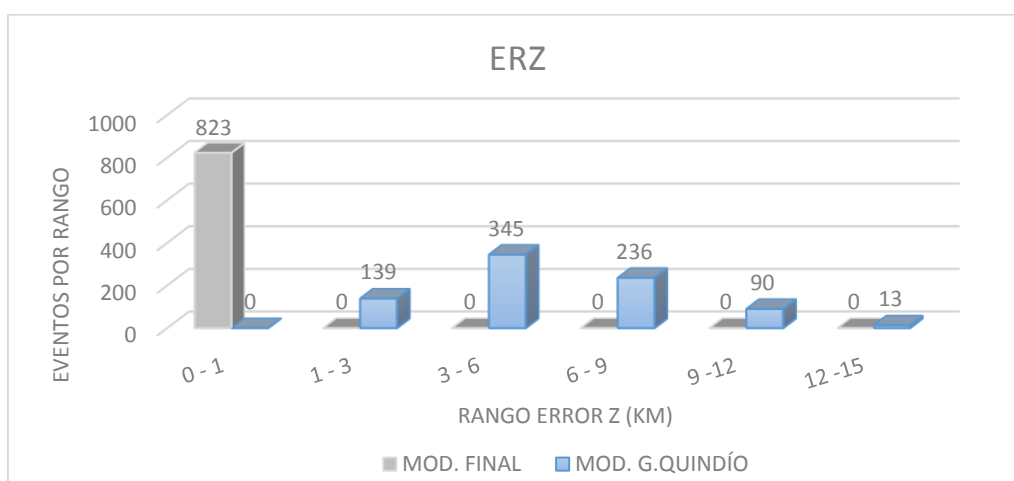
Figura 6. 7 Sismos relocados con el modelo General Quindío comparados con la relocación del modelo NUQUÍ finalmente obtenido (el radio de los círculos representa el error horizontal).



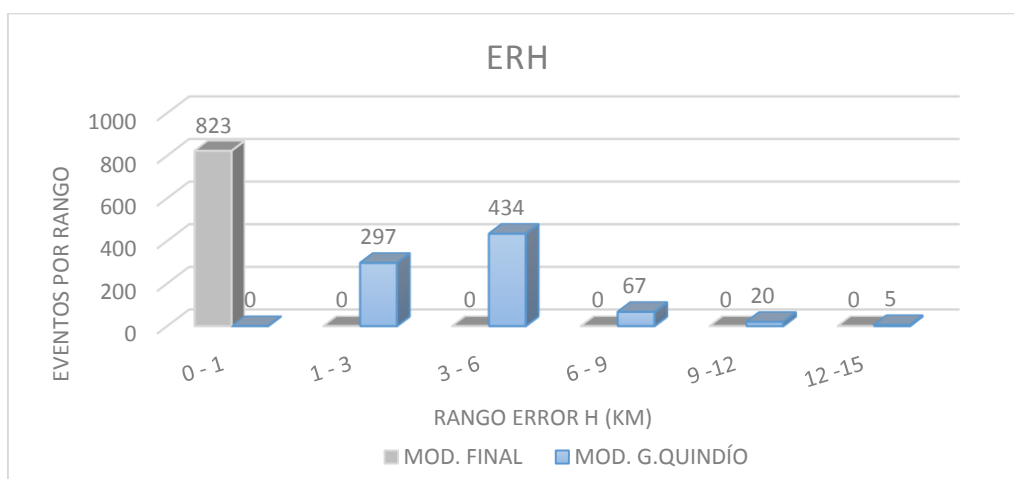
a) Diferencia de Gap.



*b) Diferencia en RMS.*



*c) Diferencia en el error en profundidad.*



*d) Diferencia en el error horizontal.*

*Figura 6. 8 (a-d) Diferencias entre los sismos localizados con el modelo General Quindío y el modelo final obtenido Nuquí en el presente trabajo.*

Como se aprecia en la anterior Figura 6.8 (a-d) , la calida de los sismos mejora notablemente con el modelo final “Nuqui” con respecto a la Tabla 6.2. La distribución azimutal (GAP) no tuvo un cambio significativo, dado el despliegue disperso de las estaciones sismológicas, pero los valores RMS, ERZ y ERH mostraron un cambio más notorio en la localización. Por consiguiente, el modelo 1D hallado se aproxima a la velocidad de onda sísmica “P” en el subsuelo y relocaliza la sismicidad utilizada con mayor exactitud.

## 6.6 Correcciones por estaciones

Las correcciones por estación son promedios de los retardos por estación para todas las observaciones; representan la desviación del modelo de velocidad promedio. Las correcciones positivas y negativas corresponden a velocidades bajas y altas, respectivamente, que son anomalías registradas respecto a la estación de referencia. Las correcciones están fuertemente relacionadas a las condiciones del sitio y a la topografía del lugar donde se encuentran las estaciones sismológicas (Kissling et al, 1994; Monsalve y Vargas, 2003). Estos deben siempre incorporarse al proceso rutinario de localización a fin de minimizar los efectos no lineales en la determinación de los parámetros hipocentrales (Vargas et al, 2003). La serie de datos utilizada fue obtenida a partir de la inversión del mejor modelo de velocidad con lecturas de ondas “P”, ya que las fases “S” no muestran arribos muy confiables.

La estación seleccionada como estación de referencia para los diferentes modelos invertidos, fue la estación “Yotoco” (se muestra en rojo en la Tabla 6.5) al presentar mayor número de lecturas de tiempo de arribo y estar cerca al cuadrante de estudio. Con respecto a esta, se obtuvieron los retardos “Stcor” o correcciones por estación, los cuales están en el intervalo -1,45 a 0,17 segundos para la onda “P”, incluyendo estaciones por fuera del cuadrante de estudio que registraron los eventos. La Tabla 6.4 presenta los retardos finales de las estaciones utilizadas en el proceso de inversión mientras que las Figuras 6.9 y 6.10 muestran las curvas de retardos para la onda “P” con respecto a la localización de los 959 sismos.

A partir de la Tabla 6.4 y las Figuras 6.9 y 6.10, se puede observar correcciones por estación positivas y negativas muy cercanas a cero, con respecto a la estación de referencia (Yotoco), especialmente hacia el cuadrante estudio (recuadro rojo Figura 6.9), donde los valores son absolutamente pequeños. Lo anterior indica condiciones casi homogéneas en los retardos de los tiempos de arribo que posiblemente están relacionadas a las condiciones geológicas de la zona, especialmente con el Valle Atrato-San Juan que es la provincia geológica más representativa para la zona (Duque, 1990; Bedoya et al, 2009). En la mayor parte del área de estudio se observa retardos levemente positivos los cuales pueden ser asociados a estratos sedimentarios y depósitos aluviales, los cuales generalmente corresponden a baja velocidades para la onda “P”. Por otro lado, se encuentra algunas anomalías especialmente cerca de la estación de “MAL” donde los retardos obtenidos son negativos asociados a altas velocidades, en una zona caracterizada por bajas velocidades. A pesar de lo anterior, los retardos obtenidos indican que el modelo de velocidad

propuesto es razonablemente homogéneo y debe ser un buen modelo para localización de sismos en esta región.

*Tabla 6 5 Retardos finales de las estaciones utilizadas en el proceso de inversión 1D con el mejor modelo obtenido.*

N°	Estaciones	Latitud (°)	Longitud (°)	Elevación (m)	Stcor (s)
1	ROSC	4,8560	74,3302	3020	-0.41
2	GOR	3,0028	78,1672	64	0.08
3	CYOT	3,9830	76,3450	1040	0.05
4	NIMA	3,5442	76,1975	1385	-0.06
5	CREC	4,9605	75,3525	4136	0.00
6	CHI	4,6330	73,7307	3100	-0.10
7	PRA	3,6953	74,9013	410	-0.53
8	TOL	4,5887	75,3398	2520	-0.22
9	SPBC	5,6522	74,0723	799	0.17
10	URE	7,7517	75,5327	251	0.04
11	DBB	7,0175	76,2097	756	0.07
12	HEL	6,2342	75,5477	2790	-0.61
13	GUY2	5,2242	75,3647	3605	0.00
14	GARC	2,1867	75,4932	1999	0.10
15	PAL	4,9052	76,2827	675	0.06
16	YOT	3,9835	76,3450	1040	0.00
17	ELA	4,8608	75,4003	3990	0.01
18	BBAC	2,0215	77,2468	1713	-0.08
19	ORTC	3,9092	75,2462	446	0.14
20	PIZC	4,9653	77,3597	38	0.12
21	PTA	7,1472	77,8083	78	0.00
22	CBOC	5,8643	76,0122	1401	0.02
23	NOR	5,5963	74,8928	510	-0.61
24	BET	2,6813	75,4413	540	-0.75
25	HORQ	3,4680	76,6337	2220	-0.02
26	CRU	1,4987	76,9523	2740	-1.45
27	ZAR	7,4923	74,8580	205	-0.04
28	MUN	2,4693	76,9568	3010	-0.74
29	PTB	6,5395	74,4563	260	0.07
30	MARA	2,8425	75,9545	2207	0.03
31	SOL	6,3700	77,4577	50	-1.41
32	GR1C	3,0027	78,1668	39	0.12
33	MAL	4,0137	77,3353	50	-0.68
34	ANIL	4,4047	75,4015	2300	-0.34
35	SJA	3,2730	73,9510	969	0.00
36	RREF	4,9008	75,3472	4743	-0.09
37	PCON	2,3277	76,3970	4294	-0.25
38	SOTA	2,1350	76,6075	3795	-0.88

39	FLO2	1,5827	75,6527	365	-1.45
40	CBSO	6,2260	77,4090	38	0.00
41	POP2	2,5402	76,6758	1869	0.02
42	UPD2	8,5475	78,0147	86	-0.23

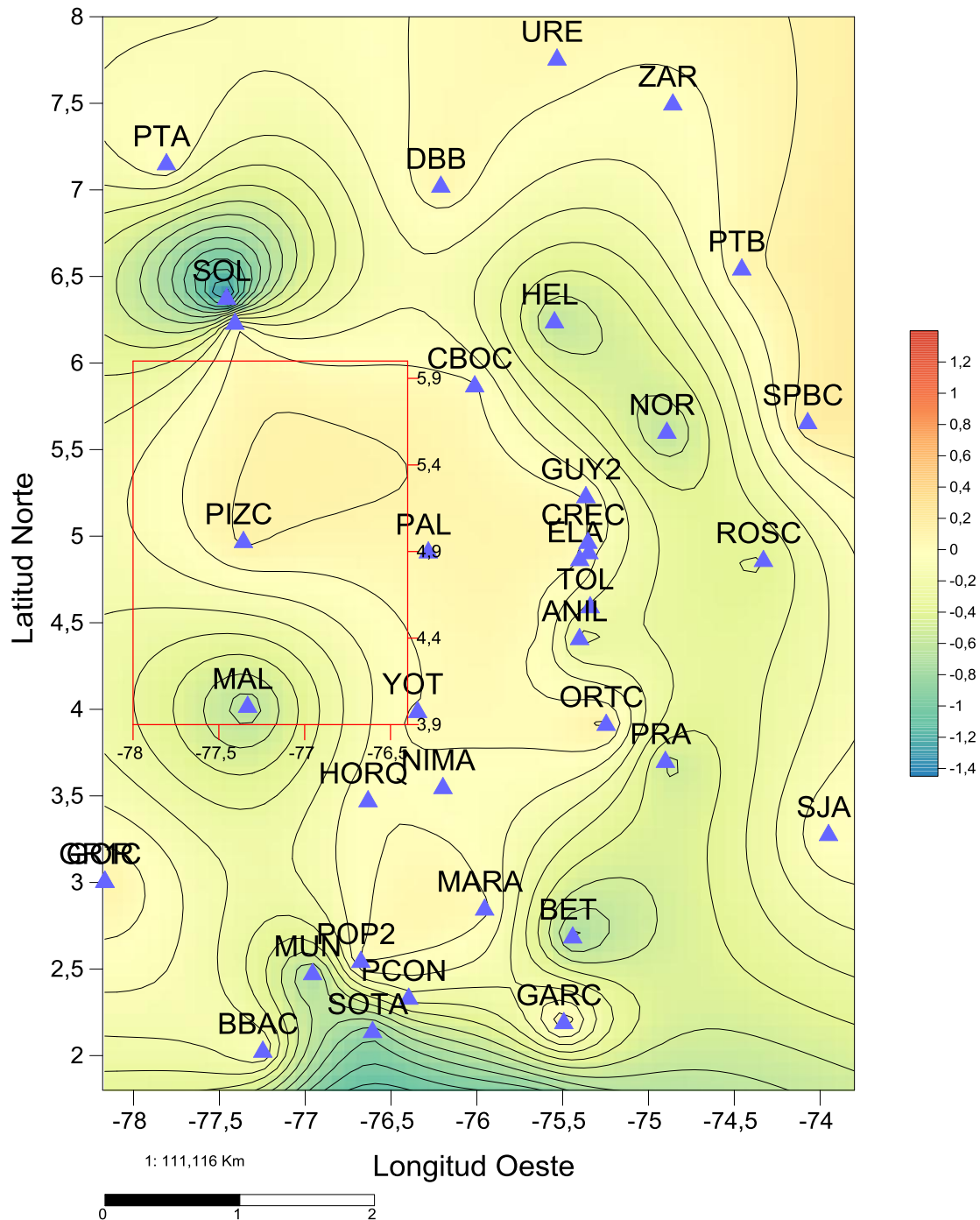


Figura 6. 9 Curvas de correcciones por estación (retrasos de arribos); los triángulos azules corresponden a las localizaciones de las estaciones, el color rojo representa las zonas de baja velocidad y el color azul representa los valores de alta velocidad.

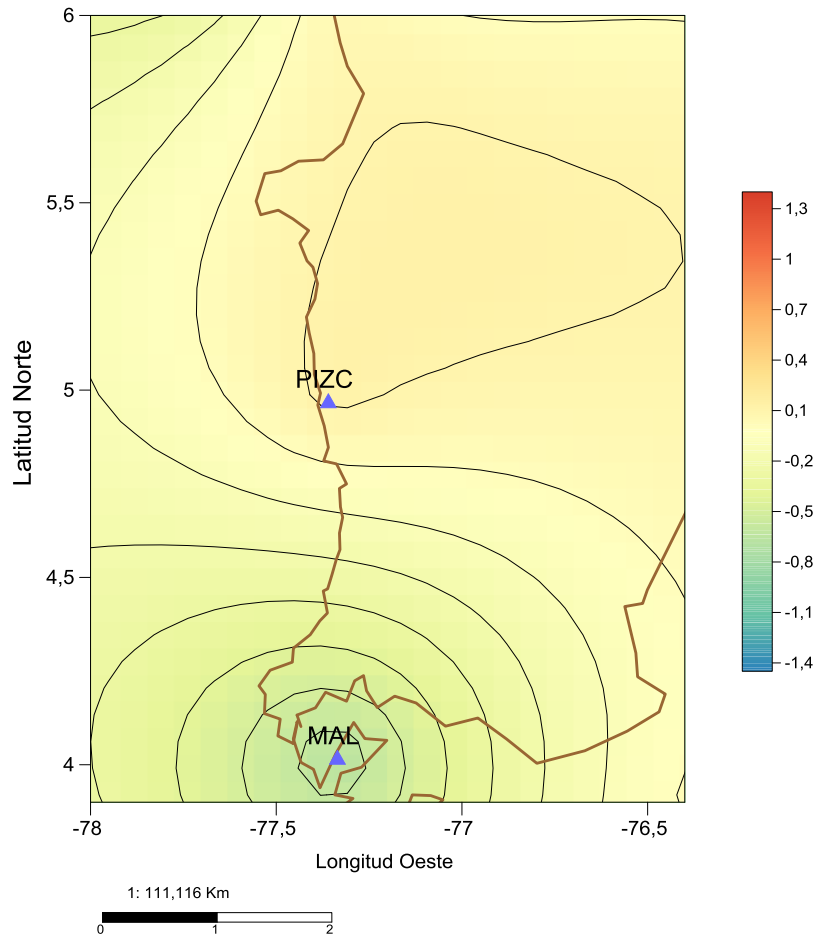
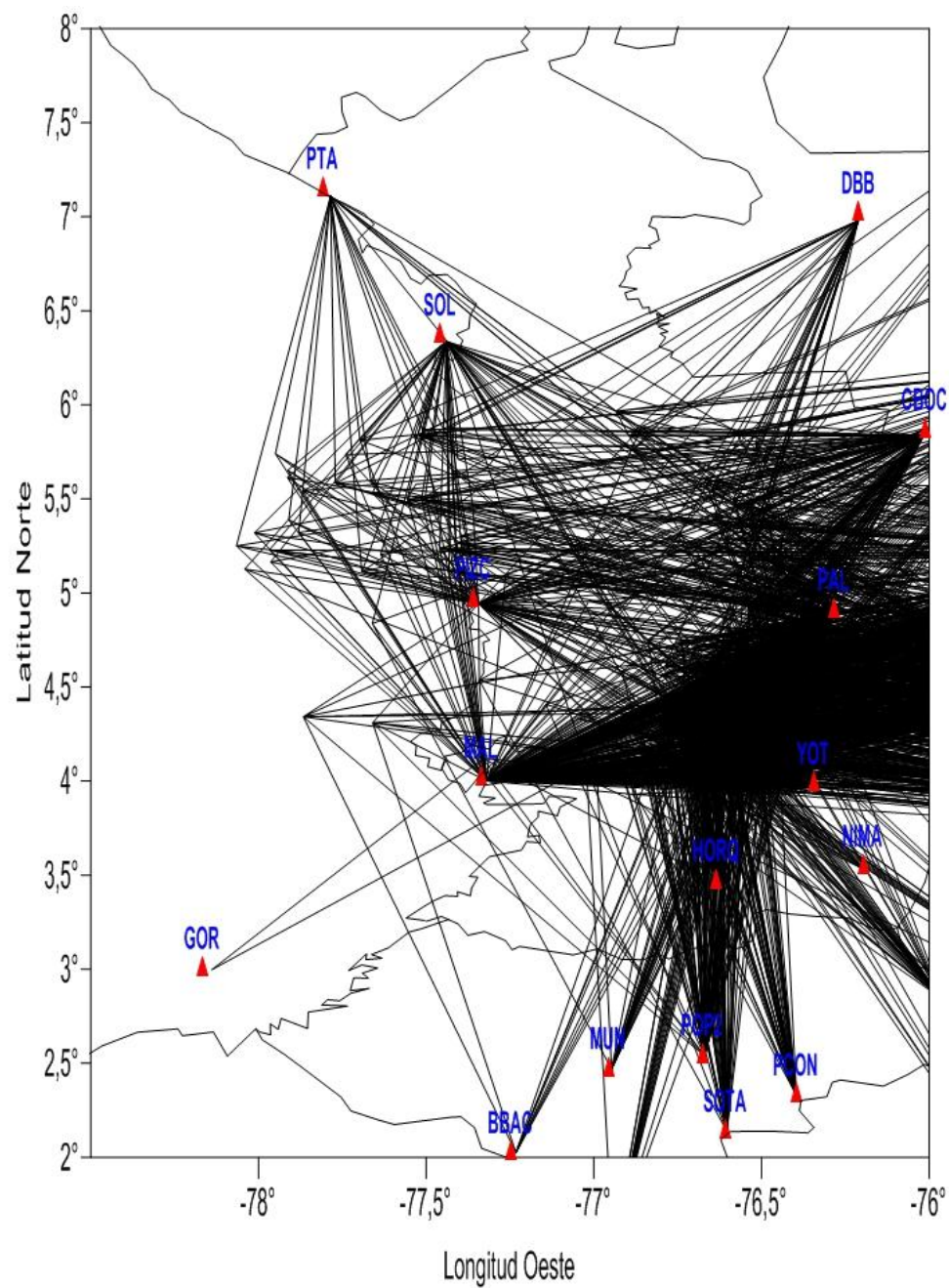


Figura 6. 10 Curvas de las correcciones por estación en el cuadrante de estudio. Los triángulos azules corresponden a las estaciones, el color rojo representa los mayores residuales y el color azul a los menores residuales.

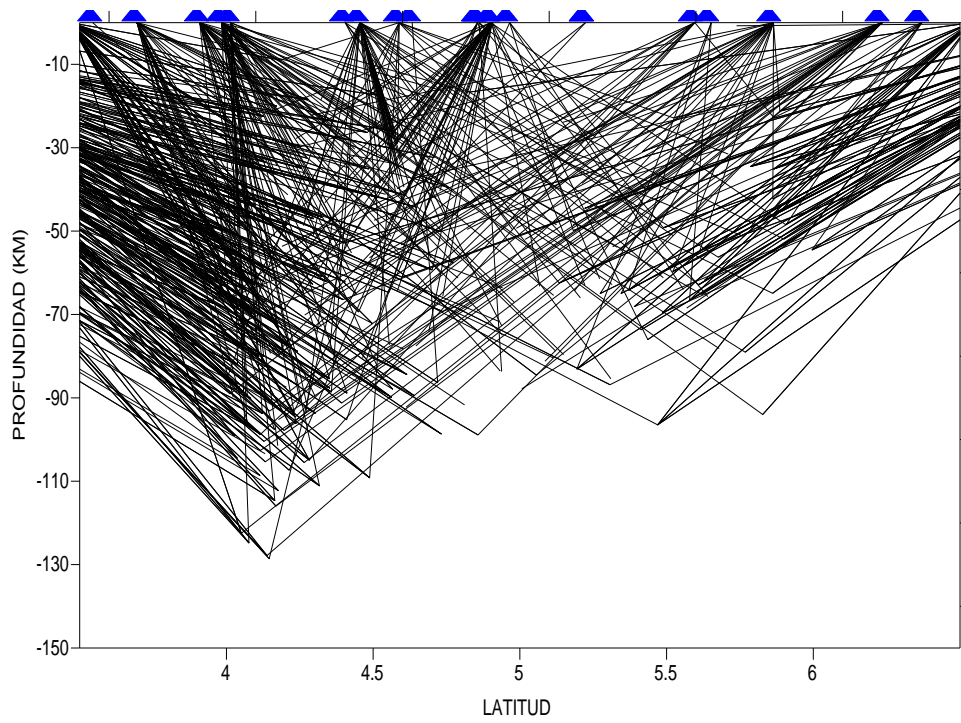
## 6.7 Determinación del Modelo de Velocidades 3D

Para llevar a cabo la tomografía sísmica (LED) y obtener el modelo de velocidad 3D, inicialmente se depuró el catálogo de 823 eventos sísmicos obtenido en la inversión 1D, filtrando sismos con mínimo 4 fases de tiempo de arribo de onda P, buena localización hipocentral y RMS menores a 0,1 segundos, garantizando una mejor calidad en los datos, condiciones propias para el programa SIMULPS14. De esta manera, varios sismos fueron excluidos por inestabilidades en la inversión, por tanto fueron seleccionados 398 eventos sísmicos, que corresponden a 2178 arribos de onda P para el proceso de inversión simultánea 3D. En la Figura 6.11 (a-d), se presentan las proyecciones aproximadas en Planta, Latitud y Longitud de los rayos o fases de arribo a las estaciones sismológicas. Estas proyecciones permiten delimitar la región que mejor representa el modelo de velocidad 3D para el volumen de estudio.

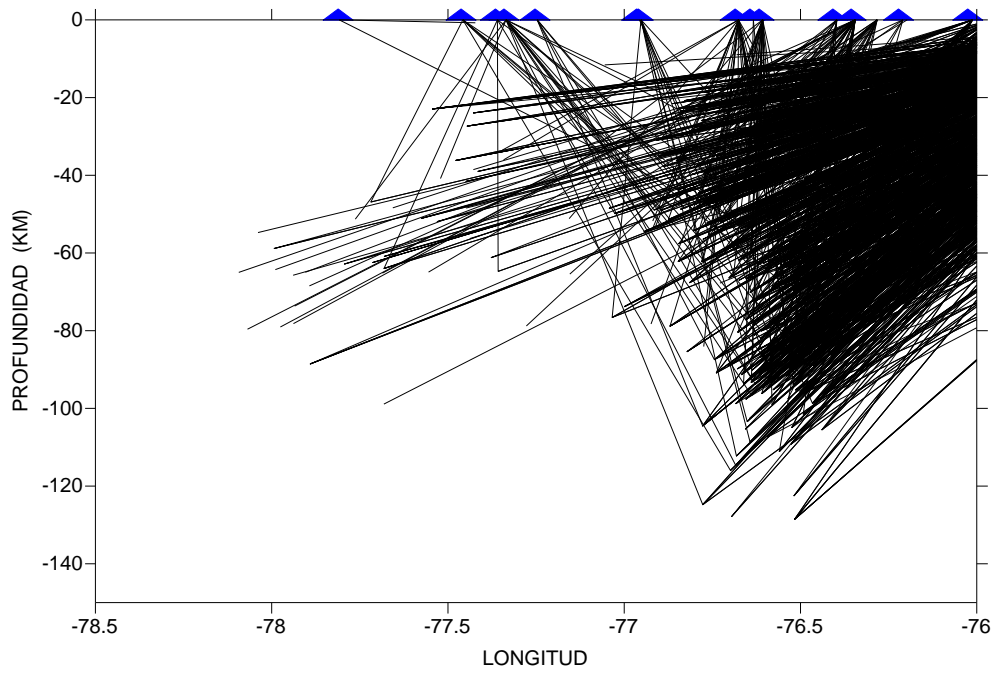


a) Proyección del trazado rayos en planta, los triángulos rojos representan las estaciones sismológicas utilizadas en este trabajo para la inversión 3D.





c) Sección transversal N-S, triángulos azules representan las estaciones sísmológicas utilizadas en este trabajo.



d) Sección transversal E-W, los triángulos azules representan las estaciones sísmológicas utilizadas en este trabajo.

Figura 6. 11 Proyección de los 2178 rayos de la fuente a la estación utilizados en el proceso de inversión 3D en este trabajo.

## 6.8 Construcción de la malla

La región de estudio está delimitada por las coordenadas; Longitud;  $(3,9^\circ - 6^\circ)$  Latitud Norte y  $(76,4^\circ - 78,5^\circ)$  Longitud Oeste. De esta forma, para evitar efectos en los bordes con la tomografía 3D, se ha dejado un arreglo con mayor área delimitada por las coordenadas con  $(3,8^\circ - 6,2^\circ)$  Latitud Norte y  $(76,1 - 78,5)$  Longitud Oeste, lo cual corresponde a un cuadrado de lado  $2,4^\circ$ , al cual se le asignó el centro del mallado en  $-77,3^\circ$  en Longitud y  $5^\circ$  en Latitud Norte.

Teniendo en cuenta los errores que afectan la resolución del modelo 3D, como el mínimo modelo 1D de partida, los tiempos de arribos para la onda “P”, los errores asociados a la inversión misma y al tamaño de la malla, se ha seguido las indicaciones dadas por (Eberhart-Phillips, 1986), en la cual la malla debe construirse de forma suficientemente gruesa como para detectar anomalías a escala cortical pero suficientemente pequeñas para no perder la calidad en la resolución. Para la selección de la malla se tomaron varios modelos de prueba en el que se comparó su matriz diagonal de resolución, para finalmente elegir la malla  $25 \times 23 \times 11$  nodos, en la se divide la zona en bloques, superponiendo retículas con espaciamiento regular horizontal y no regular verticalmente. Este modelo contiene 25 nodos en longitud, 23 nodos en latitud y 11 nodos en profundidad para un total de 6325 nodos. El espaciamiento entre los nodos fue de 10 km tanto en latitud y 12 km en longitud y en profundidad -5, 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 km.

Igualmente, para la distribución de la velocidad inicial en el mallado, se ha tomado el mínimo modelo de velocidad 1D obtenido previamente con VELEST “modelo Nuquí”, donde a cada nodo se le ha asignado un valor inicial de velocidad, los cuales son perturbados conforme la realización de la inversión simultánea y finalmente interpolados con los 8 nodos vecinos (Thurber, 1983). Esta distribución de velocidad de onda “P” es detallada en términos de la profundidad en la Tabla 6.6.

*Tabla 6 6 Distribución de la velocidad para el modelo de entrada 3D en función de la profundidad.*

Velocidad (km/s)	Profundidad (km)
3,74	-5
3,74	0
5,95	5
5,95	10
5,95	15
5,95	20
6,93	30
6,93	40
7,35	50
7,69	70
7,69	100

Una vez construida la malla y distribuido el modelo de velocidad, se realizó la inversión tomográfica en busca del mejor modelo 3D, siguiendo la metodología planteada por (Eberhart-Phillips, 1986), mediante la cual se pretende determinar un valor particular de amortiguamiento con múltiples inversiones de prueba y error (Trade - Off), que permitan finalmente obtener un balance entre las varianzas del modelo respecto a las varianzas de los datos y de esta manera obtener la mejor solución para el modelo 3D. Por consiguiente, para su determinación, se evaluaron diferentes valores de amortiguamiento entre 1 y 500, obteniendo finalmente el mejor modelo 3D asociado al mejor amortiguamiento  $\mathcal{E} = 20$ , que reduce la varianza del modelo con respecto a la varianza de los datos. Este dato es representado por el punto rojo en la curva de balance planteada por Eberhart-Phillips en la Figura 6.12.

Una vez obtenido el modelo de velocidad 3D con respecto al mejor parámetro de amortiguamiento, se logró reducir el valor RMS de la inversión conjunta en comparación al obtenido con el modelo 1D (ver Tabla 6.7). Los resultados de la inversión 3D en efecto muestran una disminución en los errores hipocentrales. Este catálogo final es consignado en el anexo E.

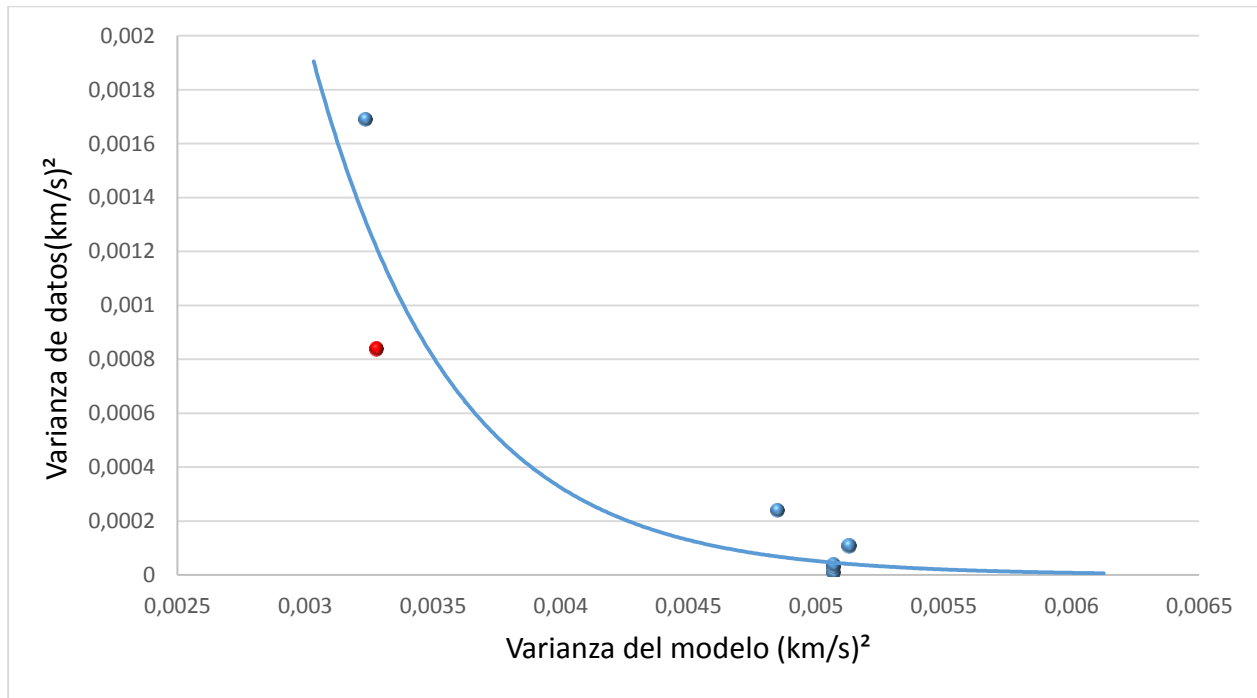


Figura 6. 12 Curva del balance de las varianzas del modelo respecto a las varianzas de los datos para la selección del óptimo amortiguamiento (punto rojo)  $\mathcal{E} = 20$ . Los puntos azules corresponden a otros valores de amortiguamiento.

Tabla 6 7 Comparación de los RMS de las inversiones conjuntas con el modelo 1D y 3D obtenidos en el presente trabajo.

RMS Mínimo modelo 1D	RMS Modelo 3D
0,0478	0,0274

## 6.9 Matriz Resolución

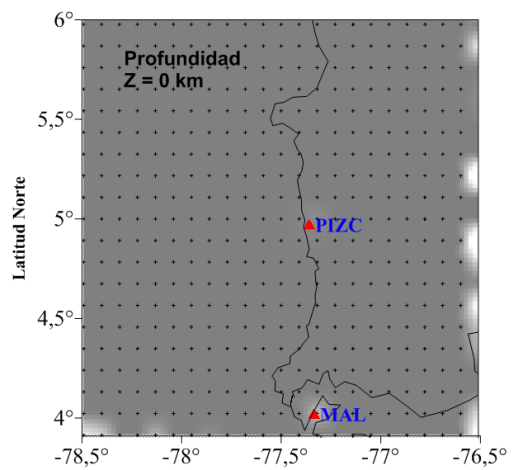
Con la determinación del modelo 3D, se ha obtenido la Matriz Resolución mostrada en la Figura 6.13 (a-j), la cual permite ilustrar la variación espacial (en planta) con respecto a la densidad de rayos, que corresponden a los elementos de la matriz diagonal de resolución  $V_p$ , o sea, el acople entre la solución y los parámetros del modelos. Los rangos de estos modelos se muestran en la Tabla 6.8. La mayor diferencia de la resolución de  $V_p$  es causada por la distribución espacial de sismos y la cantidad de arribos leídos en las estaciones (Monsalve y Vargas, 2003).

En esta se aprecia que para profundidades entre 0 km - 30 km y mayores a 100 km, la resolución es demasiado baja, o lo que es lo mismo, una baja densidad de rayos sísmicos a través del volumen de estudio, que es coherente con la poca sismicidad superficial ( $h \leq 30$ ) y profunda ( $h \geq 100$ ) relocalizada y utilizada en la inversión (ver Figura 5.7; e-f), por tanto para estas profundidades no se pudo obtener una resolución aceptable para el modelo de velocidad 3D. Igualmente la resolución hacia el océano no pudo revelarse debido a la poca distribución de rayos sísmicos, además por el nulo despliegue de estaciones sismológicas en esta área.

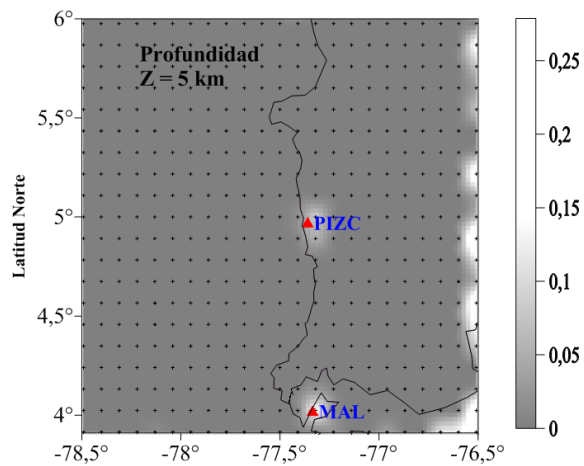
Por el contrario, para profundidades entre 30 km - 70 km y 70 km - 100 km, se aprecia valores de resolución aceptables que están de acuerdo a la distribución de la sismicidad y de los rayos a través del volumen de estudio tal como lo muestra los perfiles en la Figura 6.11 (a-d), lo cual permite tener una idea general de la distribución de la velocidad en estas profundidades.

Tabla 6 8 Rango de Matriz de Resolución obtenido con el modelo 3D.

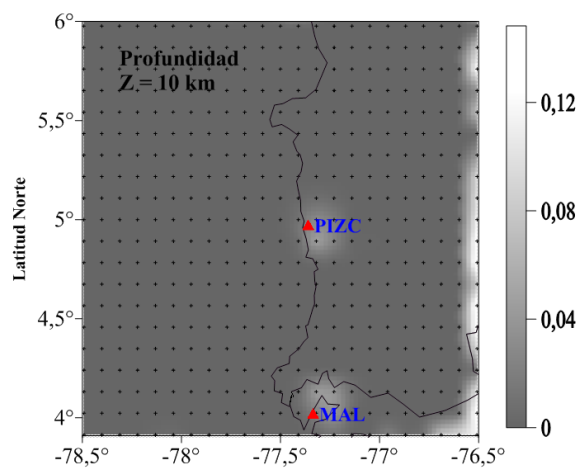
Capa (km)	Rango Resolución de $V_p$
0	0 - 0,23
10	0 - 0,27
15	0 - 0,15
20	0 - 0,18
20	0 - 0,45
30	0 - 0,90
40	0 - 0,88
50	0 - 0,90
70	0 - 0,96
100	0 - 0,73



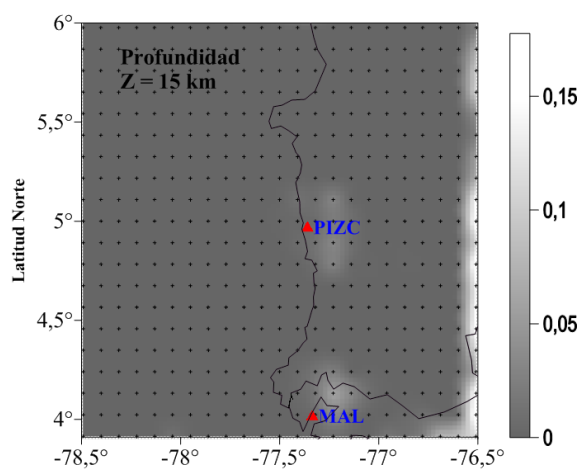
a)



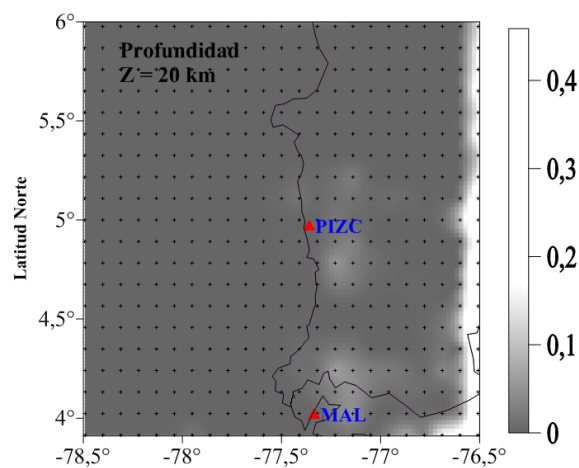
b)



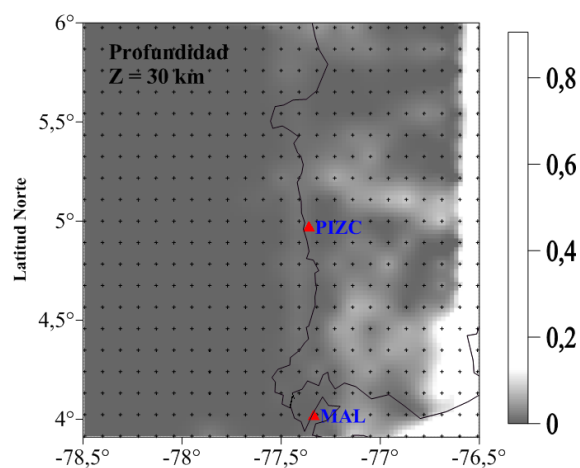
c)



d)



e)



f)

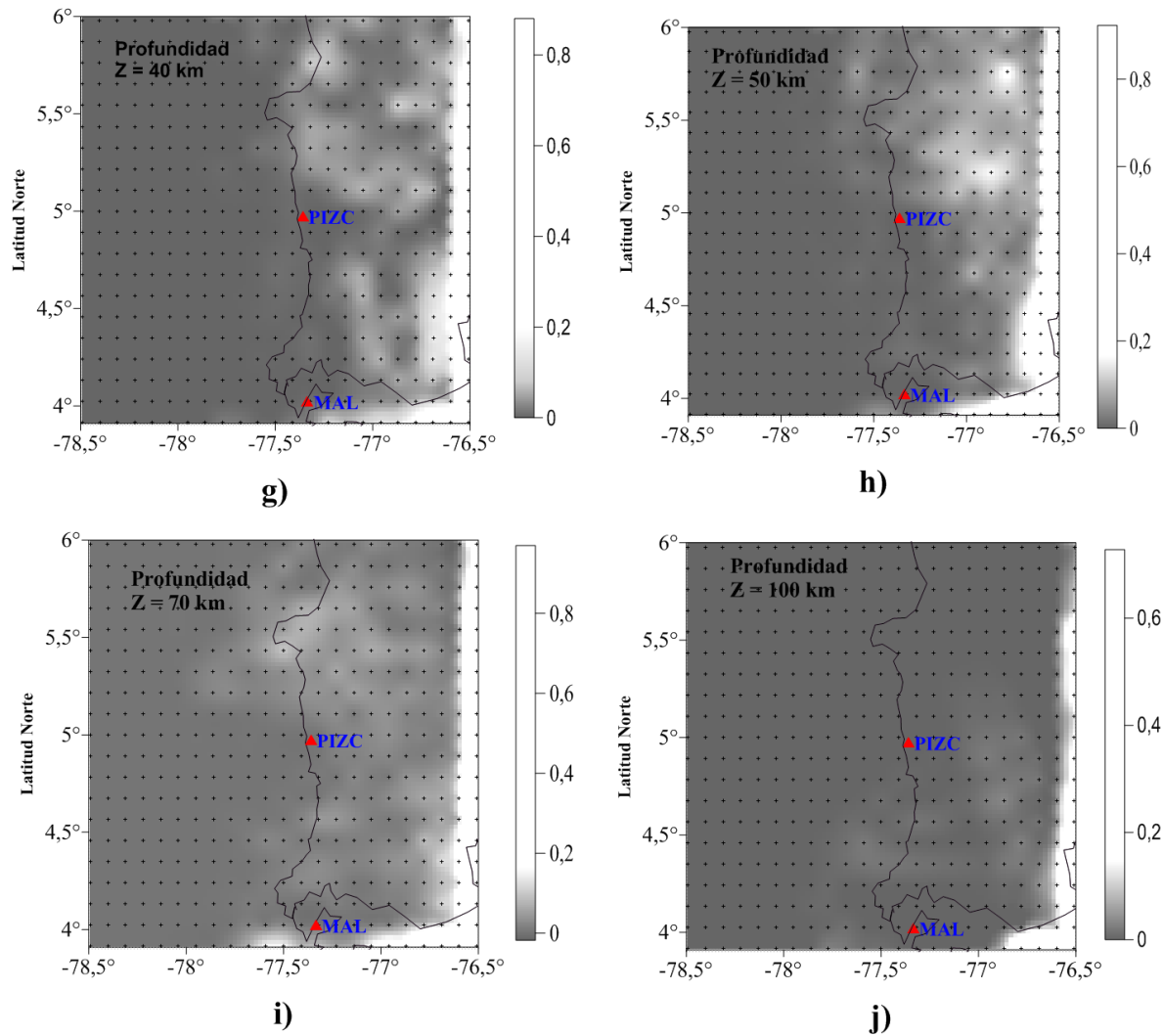


Figura 6. 13 (a-j) Elementos diagonales de la matriz de resolución para la inversión 3D en la región de estudio. Se ilustran 8 planos en planta con profundidades de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 km. Los tonos blanco y gris señalan la alta y baja resolución respectivamente para la región de estudio. Los triángulos rojos señalan las estaciones sismológicas dentro del área de estudio. La malla está representada por las cruces regularmente espaciadas.

## 6.10 Interpretación de anomalías de velocidad

Para facilitar la observación de las anomalías de velocidad producto del modelo 3D obtenido, se puede mostrar en términos del porcentaje de variación respecto a la velocidad promedio de cada capa (Londoño et al., 2010; Torres, 2012). En el presente trabajo se presentan los resultados de esta variación porcentual de la velocidad media  $V_p$  para cada capa en que se han identificado algunas anomalías de velocidad. Aun así el modelo de velocidad 3D obtenido, logra mantenerse muy cerca de las velocidades promedios del mínimo modelo inicial 1D (modelo Nuquí). Para zonas de poca información y baja resolución las velocidades también logran mantenerse dentro de estos promedios de velocidad 1D sin ninguna perturbación o inestabilidad en la inversión.

La Figura 6.14 (a-j) muestra los resultados para cada capa de los porcentajes de cambio de velocidad promedio (contrastes de velocidad) en función de la profundidad para la onda “P”. Para las profundidades de 0, 5, 10 y 20 km, como se ilustró en la matriz resolución, solo ha sido posible dilucidar contrastes de velocidad cerca de la estación de Bahía Málaga “MAL” y Pizarro “PIZC”, que podrían asociarse a fallas en la corteza. En efecto, el contraste de velocidad hallado cerca a la estación de “MAL” a las profundidades de 5, 10, 15, 20 y 30 km, coinciden justamente con el contraste de velocidad hallado en la tomografía sísmica 3D efectuada por (Vargas et al, 2003) y en la cual su orientación coincide con la Falla Garrapatas, tal como se identifica en el presente trabajo. Por otro lado, el contraste de velocidad identificado cerca de la estación de “PIZC” podría asociarse a contrastes litológicos de una falla cortical, posiblemente referida al sistema de Fallas San Juan que delimita el norte de la cuenca San Juan (Bedoya, 2009). Para las demás áreas en estas profundidades, no fue posible correlacionar la geología con la inversión tomográfica, por lo que la velocidad  $V_p$  se mantiene con respecto a las velocidades iniciales del modelo de Velocidad 1D.

Para la profundidad de 100 km no se logra identificar contrastes de velocidad debido a la nula resolución y a la poca distribución de rayos a esta profundidad, por lo que el modelo no pudo recuperarse de acuerdo a la matriz resolución. Por el contrario, las profundidades para las cuales se logró identificar contrastes de velocidad estuvieron definidas entre 30 km y 70 km.

Para la profundidad de 30 km se presentan cambios de velocidad entre  $6,69 \text{ km/s} < V_p = 6,92 \text{ km/s} < 7,26 \text{ km/s}$ ; se identifica una franja de baja velocidad ( $V_p < 6,92 \text{ km/s}$ ) hacia el norte de la zona de estudio bajo las coordenadas; Longitud:  $-77^\circ$  y Latitud:  $5,5^\circ$ . Igualmente hacia el sur de la zona de estudio se encuentra dos contraste de baja y alta velocidad con coordenadas;  $-76,6^\circ - 4,37^\circ$  y  $-77,2^\circ - 4,4^\circ$  de longitud y latitud respectivamente. Este último contraste de velocidad posee la misma orientación (WS-NE) de la Falla Garrapatas y corresponde al mismo contraste expuesto anteriormente a menores profundidades. Dichos contrastes por tanto pueden estar relacionados con la zona deformada de Isthmina o al límite inferior del Bloque Chocó tal como lo ha sugerido previamente (Vargas, 2003). Igualmente para esta profundidad según el modelo de velocidad obtenido, inmediatamente se comienza a notar mayor contrastes de velocidad conforme se va adentrando al manto superior y que evidencia grandes heterogeneidades en el modelo de velocidad producto del proceso de subducción Nazca – Sudamerica.

Para la profundidad de 40 km se presentan cambios de velocidad entre  $6,73 \text{ km/s} < V_p = 6,94 \text{ km/s} < 7,30 \text{ km/s}$ , se identifican dos contrastes de baja y alta velocidad con respecto a la velocidad de  $6,94 \text{ km/s}$ , el primero ubicado hacia la costa norte en inmediaciones de los municipios de Nuquí y Bahía Solano aproximadamente a los  $-77,31^\circ$  de Longitud y  $5,43^\circ$  de Latitud y el segundo ubicado hacia el sur de la zona de estudio con coordenadas; Longitud  $-76,65^\circ$  y Latitud:  $4,45^\circ$ , coherentes también con la Matriz Resolución.

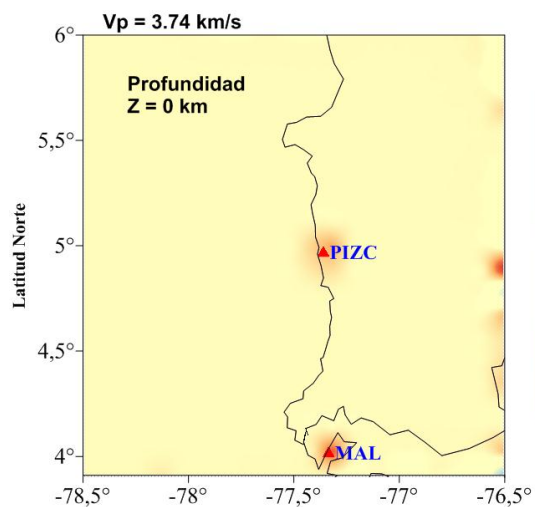
Para la profundidad de 50 km se presentan cambios de velocidad entre  $7,07 \text{ Km/s} < V_p = 7,34 \text{ km/s} < 7,60 \text{ km/s}$ . Se identifican dos contrastes de baja y alta velocidad con respecto a la velocidad de  $7,34 \text{ km/s}$ ; el primero ubicado hacia el norte de la zona de estudio con coordenadas de Longitud  $-76,9^\circ$  y Latitud  $5,4^\circ$  en las inmediaciones de Nuquí y Bahía Solano. El segundo, está ubicado hacia el sur del cuadrante de estudio con coordenadas Longitud  $-76,6^\circ$  y Latitud  $4,3^\circ$ .

Finalmente, para la profundidad de 70 km se presentan cambios de velocidad entre  $7,51 \text{ km/s} < V_p = 7,70 \text{ km/s} < 8,07 \text{ km/s}$ . En esta capa se identifica nuevamente el contraste de velocidad con respecto a la velocidad de  $7,70 \text{ km/s}$ , en las inmediaciones de Nuquí y Bahía Solano bajo las coordenadas  $-77,5^\circ$  en Longitud y  $5,5^\circ$  en Latitud, coherente con la matriz de Resolución.

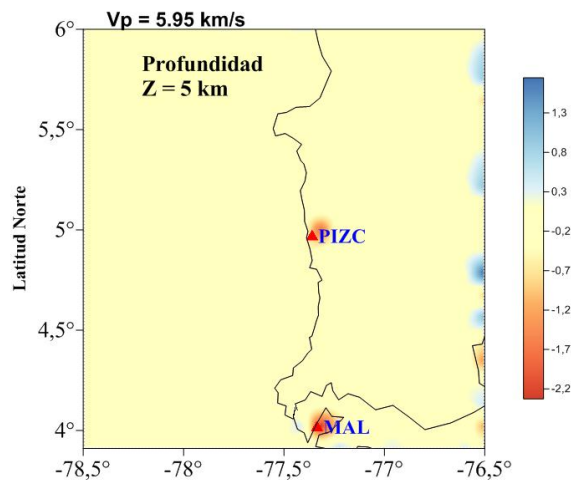
Para un mayor entendimiento de los contrastes de velocidad encontrados, se ha tomado 3 secciones transversales, las cuales son mostradas en la Figura 6.15 con dirección E-W y N-S. En la sección N-S, se presenta un perfil A-B perpendicular al contraste de velocidad, donde se identifican cambios de velocidad aproximadamente del 4 % a las profundidades de 40, 50 y 70 km, coherentes con la matriz resolución en este perfil.

En la sección W-S se presenta dos perfiles C-D y E-F. En el primero se identifican leves contrastes de velocidad que dan cuenta de la no homogeneidad lateral y que insinúan un buzamiento hacia E a las profundidades de 30, 40, 50 y 70 km, coherente con la matriz resolución. Por el contrario, para el perfil E-F, a pesar de los contrastes de velocidad identificados, estos son en menor porcentaje y dan cuenta que a esta latitud las variaciones laterales de velocidad no son tan pronunciadas, solo después de los  $-76,7^\circ$  donde se insinúa un buzamiento hacia el E.

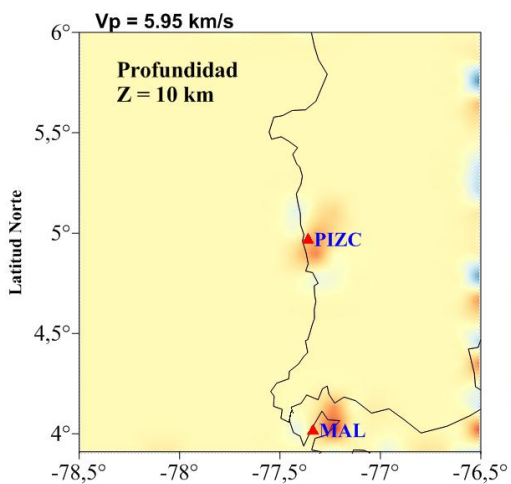




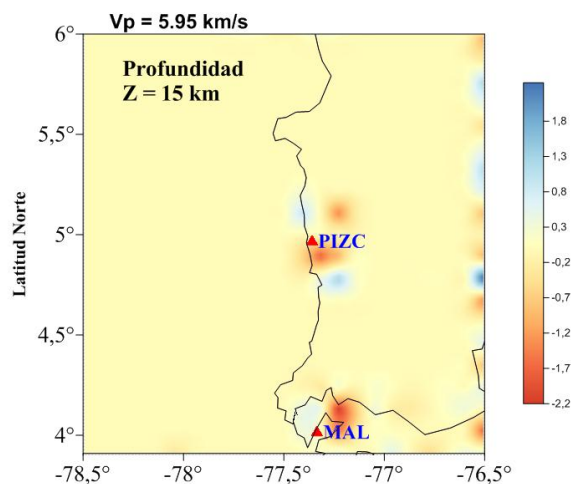
a)



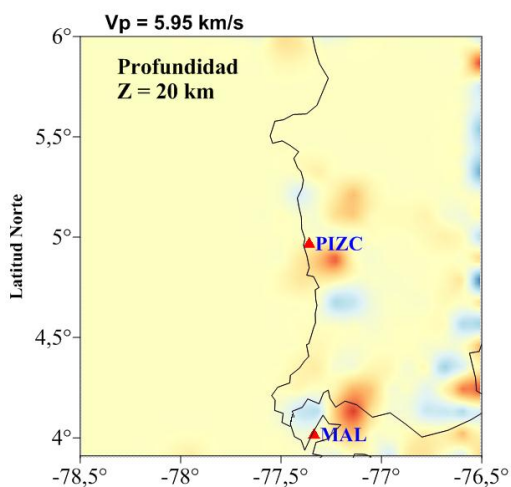
b)



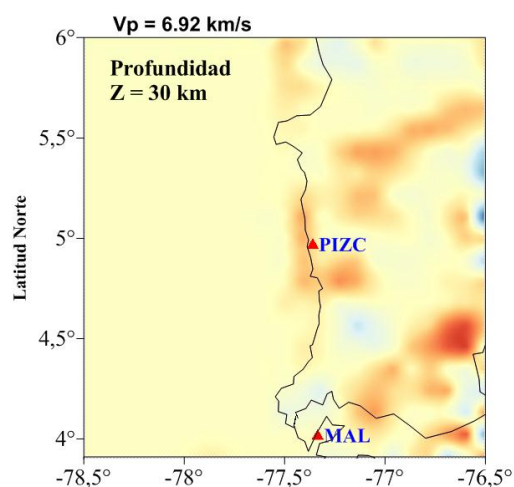
c)



d)



e)



f)

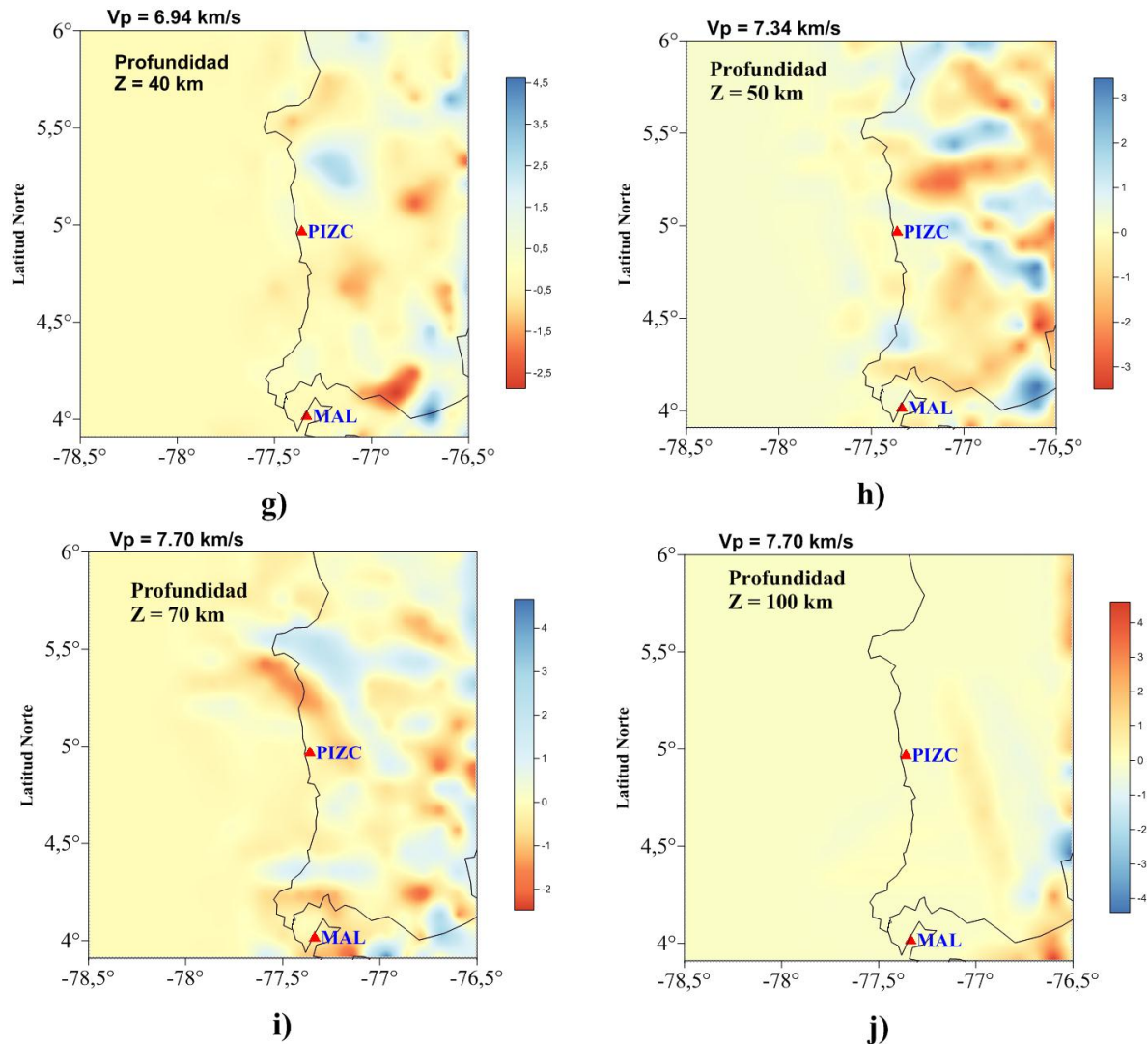
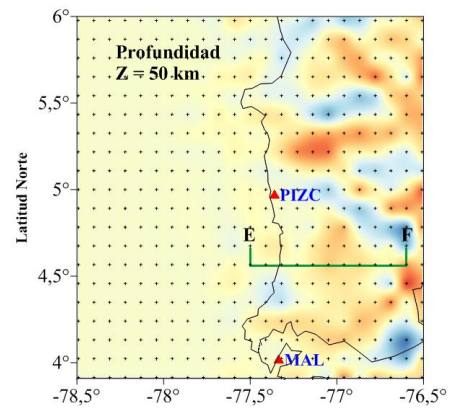
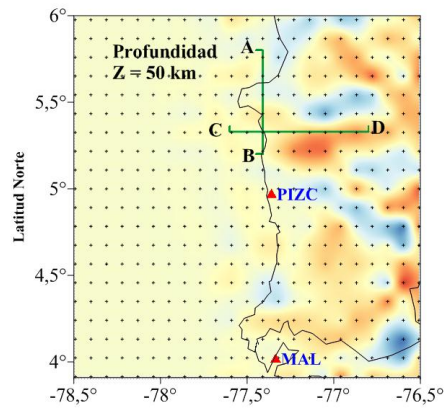
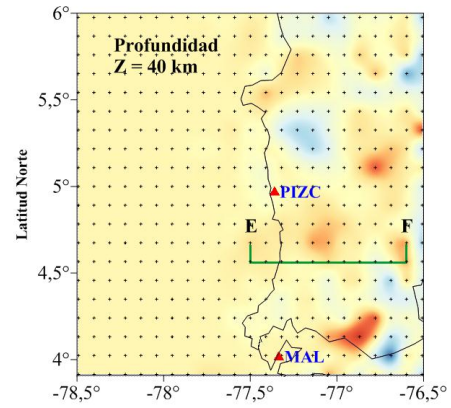
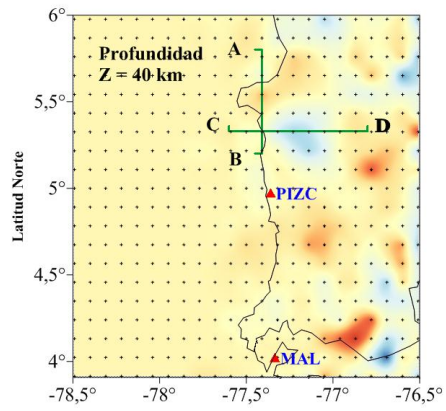
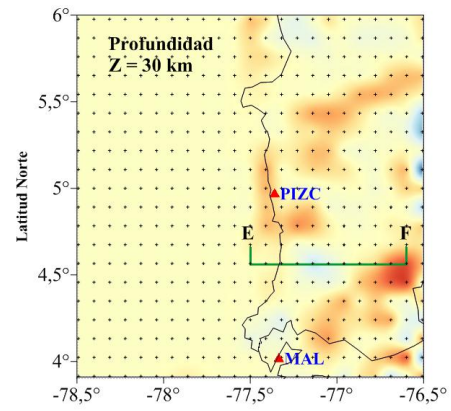
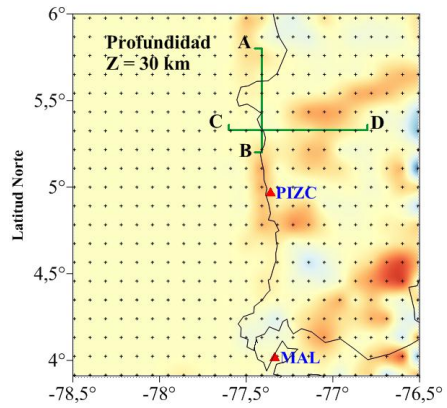
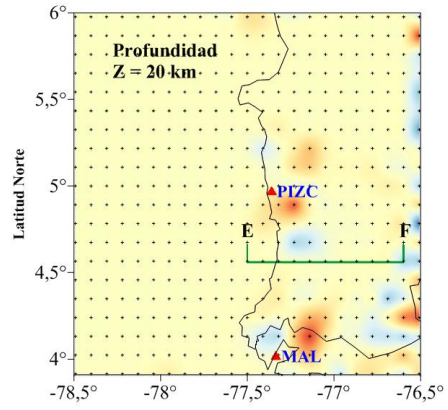
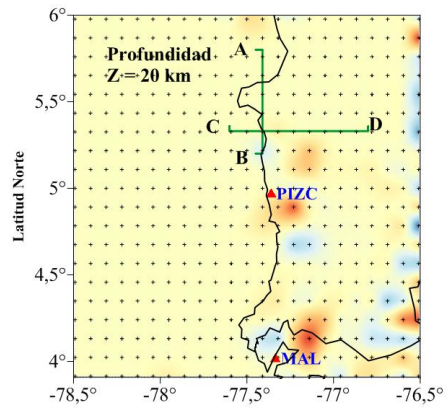


Figura 6. 14 (a-j) Porcentajes de cambio de velocidad de la onda P (contrastes de velocidad) respecto al modelo inicial 1D producto de la inversión 3D. Se ilustran 10 planos a profundidades 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 km, en los gráficos a,b,c,d,e, f, g, h, i, j respectivamente. Los tonos azules y rojos hacen referencia a zonas de anomalías de alta y baja velocidad respectivamente respecto a la velocidad promedio de la región de estudio. Los triángulos rojos representan la localización de las estaciones sismológicas.





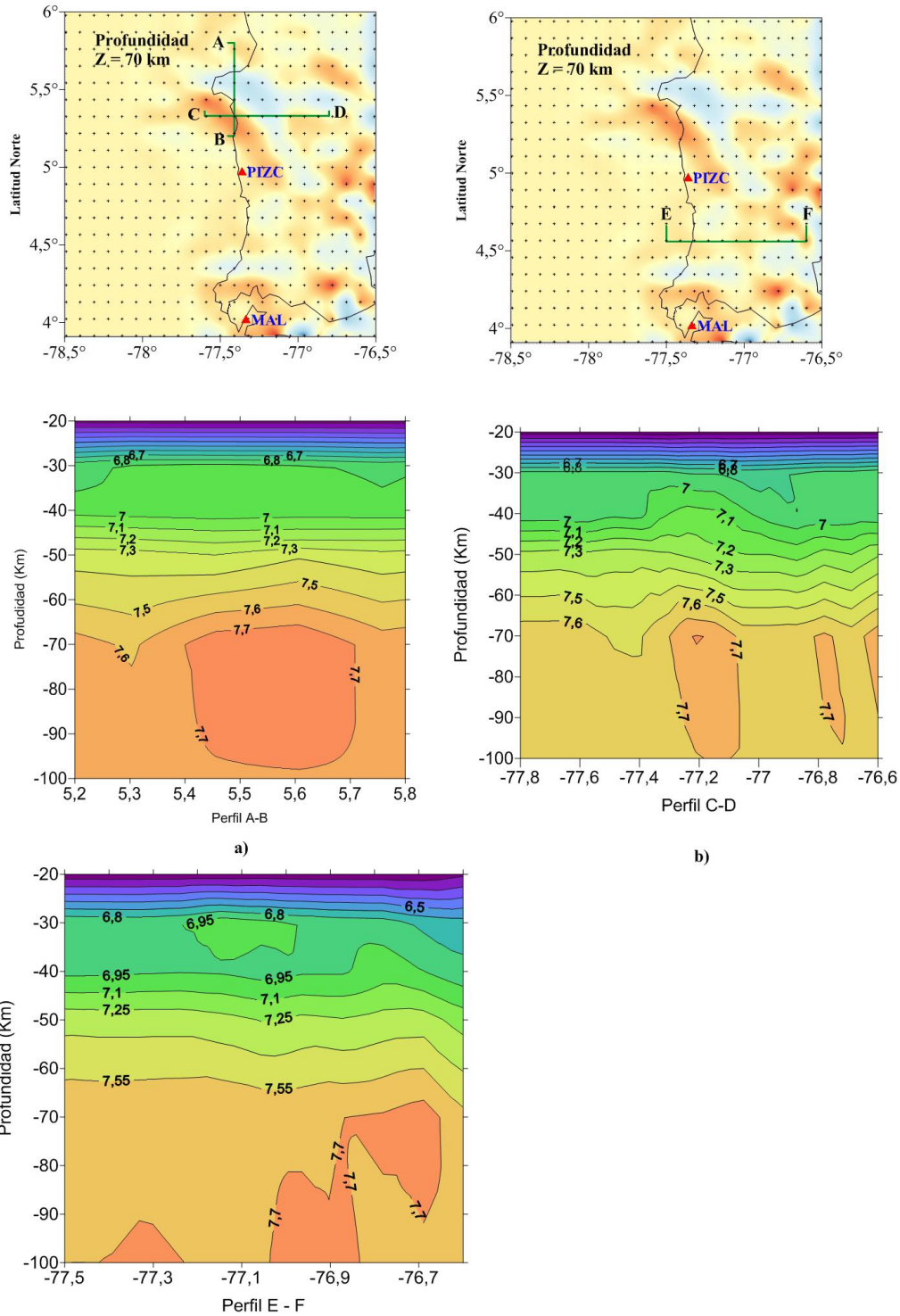


Figura 6.15 (a-c))Secciones transversales en la dirección N-S y en la dirección E-W asociados a anomalías de velocidad. a) Corresponde al perfil A-B, dirección N-S (longitud -77.4), en las profundidades 20, 30, 40, 50 y 70 km. b) Corresponde al perfil C-D, dirección E-W (latitud 5,3°), en las profundidades 20, 30, 40, 50 y 70 km. c) Corresponde al perfil E-F, dirección E-W (latitud 4.6°), en las profundidades 20, 30, 40, 50 y 70 km. Los contornos de los intervalos están cada 0.1 km/s. La malla está representada por las cruces regularmente espaciadas.

## 7. Discusión

### 7.1 Modelo 1D

De acuerdo a la inversión realizada, la mayoría de los modelos propuestos presentan una notable convergencia hacia un modelo promedio de velocidad de onda P con 5 capas, en la cual se define la geometría promedio de la corteza y manto superior e hipotéticamente el emplazamiento de la roca.

El modelo de velocidad 1D obtenido en el presente trabajo, de acuerdo al proceso de convergencia en la inversión simultánea, ha dado como resultado la existencia de bajas velocidades entre 0 y 6 km de profundidad, lo cual permite estar de acuerdo con estudios previos de refracción sísmica y estudios geológicos (Flüh et al, 1981; Duque, 1990; AHN, 2011; Bedoya, 2009) con respecto a las velocidades “Vp” en la corteza. Así por ejemplo, se ha obtenido para los primeros 6 km de profundidad una capa promedio de baja velocidad Vp (3,74 km/s) muy similar al perfil de refracción sísmica realizado por (Flüh et al, 1981) en el Proyecto Nariño III, en la cual se reporta bajas velocidades (4 km/s) para un espesor de 7,5 km/s y que son típicas de material superior de corteza oceánica. Igualmente, los trabajos de (Duque, 1990; AHN, 2011; Bedoya, 2009) reportan secuencias sedimentarias mayoritariamente de origen marino para las cuencas del Atrato- San Juan entre 5 km y 10 km, lo que permite asociarse también a bajas velocidades para la onda “P”. El trabajo de (Meyer et al., 1976, citado por Mooney et al. 1981) sugiere que la Cuenca del Atrato – San Juan contiene un relleno sedimentario de más de 10 km de acuerdo a inferencias geológicas y medidas gravimétricas las cuales se les asocian velocidades “Vp” en promedio de 3,5 km/s cerca a Buenaventura. A pesar de los rangos de espesor planteados en estos trabajos, el presente trabajo infiere solamente un espesor promedio de 6 km a este rango de profundidades con la velocidad de 3,74 km/s propios de material no consolidado.

A partir de los 6 km se obtiene un cambio abrupto hacia una capa de alta velocidad Vp (5,95 km/s) hasta los 30 km de profundidad, en el que no se ha identificado una velocidad promedio distinta. En comparación al modelo de velocidad planteado por (Mooney et al, 1981) (perfil de refracción sísmica cerca de Cali) para la corteza superior, se encuentran algunas discrepancias con respecto al modelo Nuquí. Solo para profundidades entre 6 km y 11 km se está de acuerdo con una velocidad media de 6 km/s, para mayores profundidades el modelo de (Mooney et al, 1981) obtiene más altas velocidades. Por otro lado el trabajo de (Flüh et al, 1981) plantea una velocidad en la corteza superior de 6.1 km/s y de la corteza inferior de 6.5 km/s muy cercanos al valor obtenido en el presente trabajo. Con respecto a las altas velocidades en la corteza superior, después de la cuenca sedimentaria del Atrato –San Juan, determinadas en diferentes trabajos como el de (Mooney et al, 1981; Duque, 1990), corresponderían a material ígneo de origen oceánico, un basamento acrecido al continente por el proceso de subducción según (Duque, 1990). Autores como (Bedoya, 2009) consideran por debajo de los 10 km un basamento de rocas ígneas – sedimentarias, que podrían relacionarse con esta capa de velocidad obtenida. En efecto los

resultados del proyecto Nariño II han confirmado la existencia de altas velocidades sísmicas en la corteza superior propias de materiales oceánicos. Por tanto valores cercanos a 6 km/s obtenidos en el presente trabajo, podrían corresponder a rocas de origen oceánico como se ha propuesto en estudios previos.

Para los 30 km nuevamente se ha obtenido un cambio abrupto de la velocidad promedio  $V_p$  (6,93 km/s) hasta los 52 km de profundidad, patrón identificado en la mayor parte de los modelos invertidos en este trabajo. Este cambio podría corresponder a la discontinuidad de Mohorovičić muy común a estas profundidades alrededor del planeta en zonas costeras (Tarbuck and Lutgens, 2005; PREM; Preliminar Reference Earth Model, Lay and Wallace, 1995) y de manera similar a valores obtenidos por (Franco y Ojeda, 2001; Muñoz et al. 2012; Fluh et al, 1981; Mooney et al, 1981).

A partir de los 52 km hasta los 66 km de profundidad, se ha obtenido una capa con un leve incremento en la velocidad (7,35 km/s) según el proceso de convergencia y acorde con la distribución de hipocentros para estas profundidades.

Finalmente, para el rango de profundidades entre 66 km y 100 km se ha obtenido una capa de velocidad promedio “ $V_p$ ” de 7,69 km/s. Este promedio de velocidad solo es recuperado máximo a una profundidad de 80 km dada la distribución de los hipocentros invertidos (ver Figura 5.7 (e-f)).

## 7.2 Modelo 3D

Con respecto a estos contrastes de velocidad iluminados y en general al modelo de velocidad 3D obtenido a partir de la inversión simultánea, se evidencia homogeneidad en la corteza y una gran inhomogeneidad en el manto superior, producto de la compleja interacción de las placas tectónicas, particularmente del proceso de subducción Nazca –Sudamérica.

Para los primeros 30 kilómetros de profundidad se ha encontrado contrastes de velocidad  $V_p$  que indican presencia de fallas geológicas, como la encontrada hacia Este de la estación de “MAL” la cual puede estar relacionada al sistema de fallas Garrapatas como se ha propuesto previamente por otros autores como (Vargas, 2003). Este mismo contraste de velocidad es encontrado por la tomografía de (Syracusea et al, 2016), el cual está en la misma dirección del sistema de fallas Garrapatas. Así mismo, el contraste de velocidad hallado al sur de la estación de “PIZC” que se repite desde los 10 km hasta los 30 km, posiblemente esté relacionado con el sistema de Fallas San- Juan, límite norte de la cuenca San Juan reportada por (Bedoya et al, 2009). Por otro lado se identifica un contraste de velocidad hacia el norte de la estación de “PIZC” que posiblemente esté relacionado con la falla de Bahía Solano (París et al, 2000). Los contrastes superficiales hallados son comparados con estas fallas en la Figura 7.1. En estos tomogramas se evidencia la posible

relación de la falla Bahía Solano y falla Garrapatas con los contrastes de velocidad “Vp” en algunas áreas que tuvieron aceptable resolución. En estos tomogramas se identifica otro contraste de velocidad hacia el norte de la estación de “MAL” con coordenadas 4,27° de Latitud N y -77,15° Longitud Oeste, que se repite a los 20 y 30 km de profundidad y que podría sugerir una falla tectónica hasta el momento no reportada.

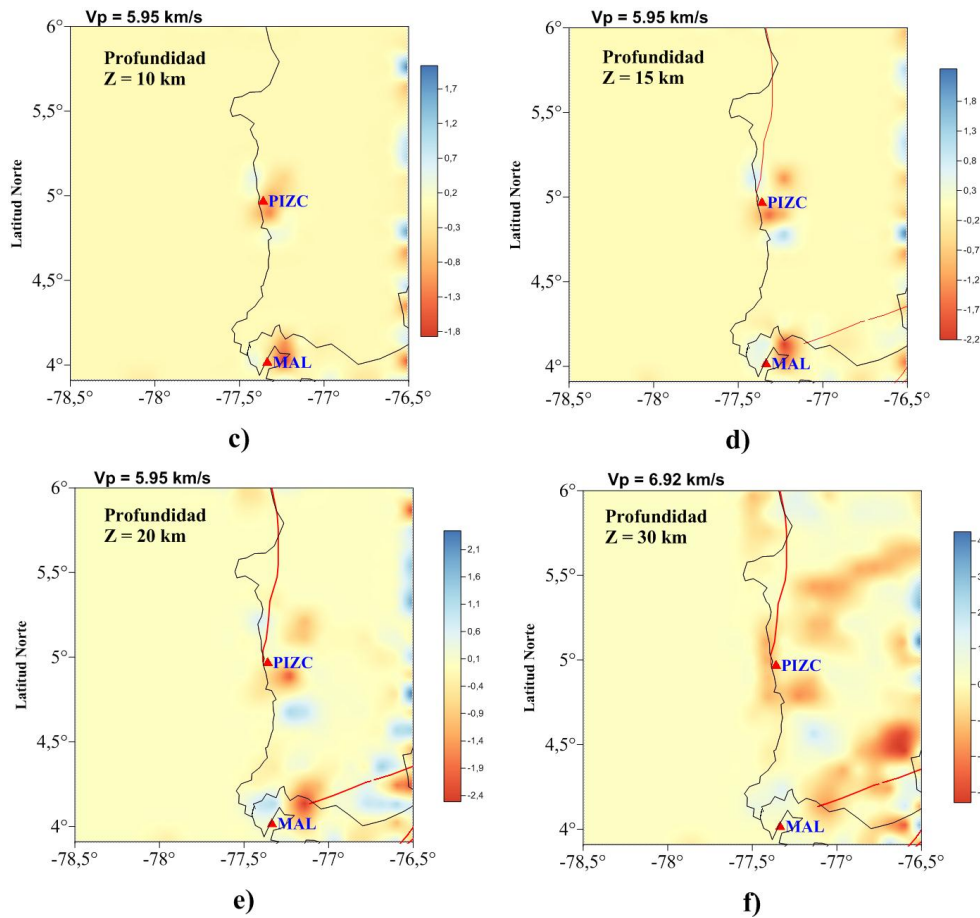


Figura 7.1 Contrastes de velocidad obtenidos para la corteza, los cuales son contrastados con las fallas de Bahía Solano y falla Garrapatas.

Con respecto al tomograma obtenido a los 30 km de profundidad, se evidencia la gran inhomogeneidad de la velocidad Vp, al pasar la corteza y adentrarse en el manto superior. Con relación al contraste de velocidad hallado en las coordenadas (-77,4° Longitud W y Latitud 5,43°) en las inmediaciones de la zona sísmo activa de Nuquí a las profundidades 40, 50 y 70 km, posiblemente sugiere una relación con el offsed a los 5° N, límite en el que subducen los segmentos Cauca y Bucaramanga planteados por (Pennington, 1981), y a su vez coincidiendo con la terminación norte del arco volcánico como lo han sugerido varios autores (Pennington, 1981). Estos contrastes de velocidad obtenidos en el presente trabajo, permiten estar de acuerdo con la tomografía de inversión conjunta con datos sísmológicos y gravimétricos realizada por (Syracusea

et al, 2016), en la cual a 40 km de profundidad, se encuentra un mismo contraste de baja y alta velocidad de norte a sur, el cual se invierte alrededor de los 50 km de profundidad y continúa hasta los 70 km como lo muestra la Figura 7.2 tomada de (Syracusea et al, 2016). Estos contrastes de velocidad obtenidos en la presente investigación y coherentes con el trabajo de (Syracusea et al, 2016) a dichas profundidades, sugieren un límite de segmentos subduciendo con diferentes ángulos de buzamiento tal como se ha planteado en diferentes estudios (Pennington, 1981) (Syracusea et al, 2016).

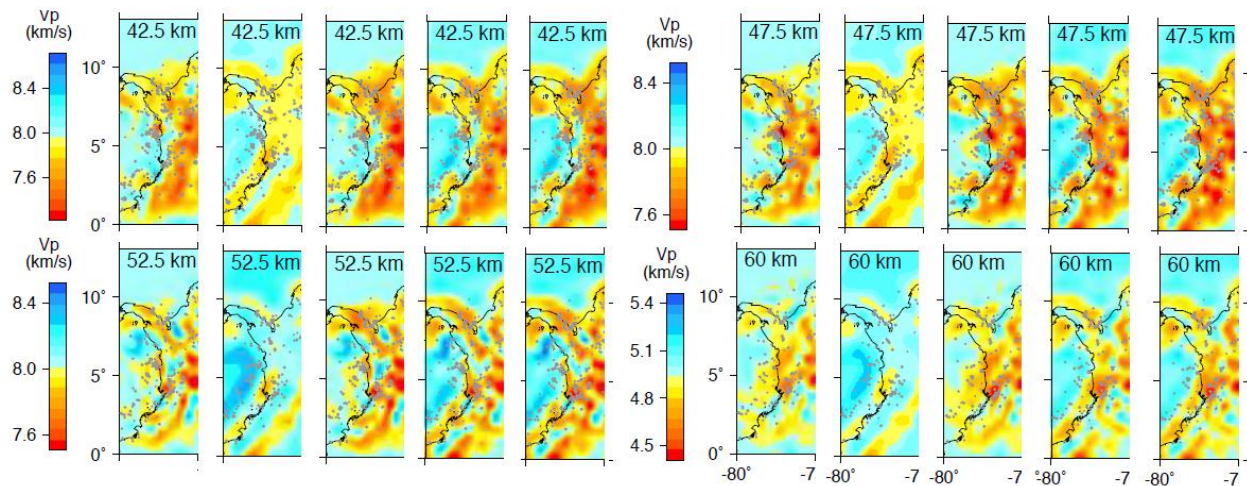


Figura 7.2 Tomogramas de inversión conjunta con datos sísmológicos y gravimétricos realizados por (Syracusea et al, 2016) en la que se evidencia contrastes de velocidad hacia  $5,4^{\circ}$  de Latitud y  $-77,4^{\circ}$  de Longitud W. De izquierda a derecha para una misma profundidad, se muestran tomogramas de ondas de cuerpo, datos gravimétricos, combinación de ondas de cuerpos con ondas superficiales, combinación de ondas de cuerpo con gravimetría y finalmente combinación de ondas de cuerpo con ondas superficiales y gravimetría. Fuente: Imagen tomada y modificada de (Syracusea et al, 2016)

A pesar de los distintos modelos propuestos para explicar la triple interacción de la placa Nazca, Sudamérica y Caribe en especial alrededor de este contraste de velocidad hallado, el presente trabajo permite respaldar la presencia de los segmentos Cauca y Bucaramanga, que conforme al contraste de velocidad hallado, podría sugerir un cambio de buzamiento de los segmentos tectónicos subduciendo, sin que se pueda asociarse el segmento Bucaramanga a un origen de la placa Nazca o Caribe. A partir de la geometría observada en los perfiles A-B y C-D, se evidencia un repliegue en los primeros 70 km de profundidad aproximadamente a la  $5,3^{\circ}$  de Latitud que se reflejarían en el contraste de velocidad hallado. La sismicidad intermedia y superficial en la zona sismoactiva de Nuquí estaría relacionada con este contraste de velocidad producto del cambio de buzamiento entre los segmentos Cauca –Bucaramanga y posiblemente relacionado con el Ridge de Sandra y el Caldas Tear (desgarre de los segmentos subducidos) planteados por (Vargas and Mann, 2013; Syracusea et al, 2016).



## 8. Conclusiones

La relocalización y el proceso de inversión simultánea en el presente trabajo han dado como resultado un catálogo de 1044 eventos sísmicos con una aceptable calidad para la zona de estudio ( $3,9^{\circ}$ - $6^{\circ}$ ) Latitud N y ( $76,4^{\circ}$ - $78,5^{\circ}$ ) Longitud W, de los parámetros hipocentrales. En la medida que se mejoren estas bases de datos consecuentemente se permitirá mejorar aún más los modelos de velocidad 1D Y 3D y la localización en la rutina diaria.

La inversión de 53 modelos de velocidad 1D con 959 eventos sísmicos, ha permitido obtener un mínimo modelo promedio de velocidad “Vp” 1D en términos de la profundidad y una relación Wadatti Vp/Vs de 1,76 (modelo Nuquí), en la que se aclara y mejora el conocimiento de las características tectónicas y geológicas de terrenos que fueron emplazados en diferentes épocas geológicas en el cuadrante estudio. Este mínimo modelo 1D indica la existencia de 5 capas promedios de velocidad “Vp” del manto superior y corteza que aumentan con la profundidad, esta última con un espesor aproximadamente de 30 km, a partir del cual se propone la discontinuidad de Mohorovičić. Los primeros 6 km, dada las bajas velocidades de onda P, evidencian la presencia y composición de material no consolidado como es el caso de los depósitos sedimentarios y aluviales tal como se propone en otros estudios. Igualmente, el cambio abrupto de los 6 km de profundidad evidencia la presencia de rocas de altas velocidades posiblemente asociados a un basamento ígneo de origen oceánico. A pesar de poseer capas plano horizontales, es un modelo confiable y óptimo para la localización y relocalización de eventos sísmicos en una rutina diaria y como modelo de entrada para futuros estudios de tomografía sísmica 3D sobre el cuadrante de estudio, dado que se mejora substancialmente los residuales de tiempo de arribo, los errores hipocentrales en la localización de sismos, las correcciones por estación y los RMS de la inversión simultánea en comparación con otros modelos 1D.

Así mismo, el proceso de inversión simultánea ha permitido obtener un modelo de velocidad (Vp) 3D con un mallado de  $25 \times 23 \times 11$  a partir de 398 eventos sísmicos, mediante el cual se disminuyó el valor RMS comparado al modelo 1D, logrando mejorar la localización hipocentral y el modelo de velocidad. En este se ha logrado identificar contrastes de alta y baja velocidad en la corteza y manto superior, que demuestran la compleja distribución de la velocidad, causado por la interacción tectónica Nazca- Sudamérica. Este modelo obtenido presenta una resolución aceptable sustancialmente en los contrastes de velocidad hallados y acorde con la distribución de la sismicidad utilizada, especialmente entre los 40 km hasta los 70 km de profundidad debido a la distribución de la sismicidad.

El estudio ha permitido correlacionar los modelos 1D y 3D con respecto a otros tipos de estudios geológicos y geofísicos. De esta forma los tomogramas obtenidos ilustran contrastes de velocidad superficial que han sido asociados posiblemente a los sistemas de fallas geológicas Garrapatas y San – Juan. Igualmente, el contraste obtenido hacia las coordenadas  $-77,4^{\circ}$  de longitud y  $5,4^{\circ}$  en

latitud, junto con los perfiles en profundidad al parecer estaría relacionado con el offset a los 5 N grados, límite en el que subducen los segmentos Cauca y Bucaramanga. El presente trabajo permite respaldar la presencia de los segmentos Cauca y Bucaramanga, que conforme al contraste de velocidad hallado, podría sugerir un cambio de buzamiento de las placas tectónicas subduciendo.

El presente trabajo es solo una representación promedio de la velocidad  $V_p$ , sin que ésta sea o explique de forma perfecta la compleja interacción tectónica. Por tanto, para futuros estudios se requerirá de un mayor despliegue de estaciones sismológicas sobre el área de estudio y estaciones sismológicas marinas que cierren la más la distribución azimutal, que conlleve a la obtención de un mejor catálogo de eventos sísmicos e imágenes tomográficas más completas que confirmen o refuten el presente modelo. Igualmente, en la medida que se focalicen los estudios de tomografía sísmica a áreas locales, se permitirá mejorar los modelos de velocidad que derivarán en una mejor comprensión y conocimiento de la estructura de la corteza y el manto superior y la implementación de futuros estudios de amenaza sísmica para la mitigación del riesgo sísmico.

## 9. Referencias

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2011). *Informa Final de Interpretación Sísmica- ANH Chocó 2D 2005*. Bogotá, D.C: PetroSeis Ltda.
- Aki, k., and Lee, W. H. K. (1976). Determination of three-dimensional velocity anomalies under a seismic array using first P arrival times from local earthquakes: 1. A homogeneous initial model. *Journal Geophysical Review*, volume 81, 4381–4399.
- Agurto, H. R. (2009). *Analizando la estructura sismotectónica de la Región de Aysén en base a registros post-sísmicos del terremoto Mw=6.2 del Fiordo Aysén*. Santiago, Chile: Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.
- Arcila, M. (2010). Sismicidad en el Pacífico Colombiano y su potencial tsunamigénico. *Servicio Geológico Colombiano*, 1-37.
- Atwater, T. (1989). Plate tectonic History Northeast Pacific and Western North America. The Geology of North America. V. N, the Eastern Pacific Ocean an Hawaii. . *The Geological society of America*, chapter 4.
- Backus, G., and Gilbert, F. (1967). Numerical applications of a Formalism for geophysical inverse problems. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 13, 247-276.
- Bedoya, G., Cediél, F., Restrepo, I., Cuartas, C., Montenegro, G., Marin, I., Ceron, R. (2009). Aportes al Conocimiento de la Evolución Geológica de las Cuencas Atrato y San Juan dentro del Arco Panamá-Chocó. *Boletín de Geología; Universidad Eafit, Medellín, Agencia Nacional de hidrocarburos.*, Vol. 31, N° 2.
- Clares, R. P., Toiron, B. M., and Rodriguez, M. B. (2006). Modelo de Velocidad Sísmicas de Cuba Oriental. *Revista Geológica de América Central (ISSN: 0256-7024)*, 109-119.
- Checa, C., Meyer, H. and Velasquez, A. (2001). Aproximación a la estructura de la zona de compresión en el occidente colombiano, a partir de observaciones sismológicas regionales. *Revista colombiana de Física*, Vol. 33, N. 2.10, 346-350.
- Checa, C. y Meyer, H. (2004). *Análisis de la sismicidad instrumental en el Occidente Colombiano (Tesis de maestría)*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Chicangana, G. y Vargas, C. A. (2004). *Desarrollo y Geometría actual de la Litosfera en la Esquina Noroccidental de Suramérica*. First Latin -American Congress, Mem. (In CD – Room).
- Coral, C. (1989). Análisis de la sismicidad de 1985 en el Nevado del Ruiz Colombia. *Memorias del Simposio internacional sobre Neotectónica y riesgos volcánicos. Revista CIAF. Vol XI No 1-3*, 215-245.

- Crosson R, S. ( 1976). Crustal structure modeling of earthquake data, 1, Simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameters. *J. Geophys Res.*, 81(17), 3036-3046.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D. and Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters* 21, doi: 10.1029/94GL02118. issn: 0094-8276.
- Dewey, J. (1971). *Seismicity studies with the method of joint hypocenter determination*: Ph.D thesis, University California, Berkeley.
- Duque, C. (1990). El Bloque Chocó en el Noroccidente Suramericano: Implicaciones Estructurales, Tecnoestatigráficas y paleogeográfica. *Journal of south American Earth Sciences*, Vol 3, N 1, 71-84.
- Eberhart-Phillips, D. (1986). Three-dimensional velocity structure in Northern California Coast Ranges from inversion of local earthquake arrival times. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 76, 1025–1052.
- Ego, F., Sebrier, M., Lavenue, A., Yepes, H., Egues, A et al.(1996). Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 259, 101-116.
- Espinosa, L. K. y Jaramillo., H. M. (2010). Determinación de un modelo unidimensional de velocidades para el eje Cafetero Colombiano utilizando Tomografía Sísmica. *Centro de Estudios e Investigaciones de la Facultad de Ingeniería - CEIFI. Universidad del Quindío.*, 1-4.
- Evans, J. R., Eberhart-Phillips, D. and Thurber, C. H. (1994). *User's Manual For Simulps12 For Imaging Vp And Vp/Vs: Derivative Of The "Thurber" Tomographic Inversion Simul3 For Local Earthquakes And Explosions. U.S. Department Of The Interior; U.S. Geological Survey. U.S. Department Of The Interior; U.S. Geological Survey.*
- Flórez, H., and Osorio, L. M. (2010). *Determinación de modelo unidimensional de velocidad en el centro-occidente colombiano utilizando tomografía sísmica local (Tesis de Pregrado)*. Armenia, Colombia: Universidad del Quindío.
- Flüh, E., Milkereit, B., Meissner, R., Meyer, R., Ramírez, J., Quintero, C. and Udías, A. (1978). Observaciones de Refracción sísmica en el Noroeste Colombiano en la Latitud 5.5°. *Investigaciones Geofísicas sobre las estructuras oceano - Continentales Occidental.*, 83-95.
- Franco, L. E. y Ojeda, A. (2001). Mejoras al modelo de velocidades para la localización de sismos en Colombia. *Instituto Colombiano de Geología y Minería - Ingeominas, Red Sismológica Nacional de Colombia, diagonal 53 # 34 - 53 Bogotá (colombia).*, 1-18.

- Gutscher, M., Malavielle, J., Lallemand, S. and Collot, J. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Letters* 170(1-2), 155-156.
- Haslinger, F. (1999). Short Readme and Description of Simulps14. *Institute of Geophysics, ETH Zürich*, [haslinger@tomo.ig.erdw.ethz.ch](mailto:haslinger@tomo.ig.erdw.ethz.ch).
- Havskov, J., Ottemöller, L., and Voss, P. (2011). Editors of SEISAN: The earthquake analysis software for windows, Linux and Macosx. Version 9.0. *University of Bergen, Norway*.
- Havskov, J. and Ottemöller, L. (1999). SEISAN: The Earthquake analysis software: For Windows, SUN/OS, Solaris and Linux. *Institute of Solid Earth Physics*, , University of Bergen. Norway.
- Herglotz, G. (1907). Über das Benndorfsche Problem der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenstrahlen. *Zeitschrift für Geophysik*, 8 145-147.
- Hey, R. N. (1997). Tectonic Evolution of the Cocos-Nazca spreading center. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88, 1404-1420.
- IASPEI. (2009). International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior *New Manual of Seismological Observatory*.
- Imhof, A. (2008). *Caracterización de Arenas y Gravas con Ondas Elásticas: Tomografía Sísmica en cross hole, (Tesis de Doctorado en Ingeniería)*. Cuyo. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Instituto Geofísico - Universidad Javeriana. (1981). *Investigaciones Geofísicas sobre la estructura océano – continentales del Occidente Colombiano*. Bogotá, Colombia: Editora Guadalupe.
- Johnson, G. L. and Lowrey, A. (1972). Cocos and Carnegie Ridges -result of the Galapagos ‘‘hot spot’’. *Earth Planet Sci Lett* 14, 279–280.
- Kellogg, J. N. and Vega, V. (1995). Tectonic Development of Panamá, Costa Rica, and the Colombian Andes: Constraints from Global Positioning System Geodetic Studies and Gravity. *Geological Society of America*, 295.
- Kissling, E. (1988). Geotomography with local earthquake data. *reviews of geophysics*, vol. 26, no. 4, 659-698.
- Kissling, E., Ellsworth, W. L., Eberhart-Phillips and Kradolfer, U. (1994). Initial reference models in local earthquake tomography. *Journal of Geophysical Research*., vol. 99, no. b10, 19,635-19,646.
- Kissling, E., Kradolfer, U. and Maurer., H. (1995). *Program VELEST USER'S GUIDE - Short Introduction*. ETH Zuerich, Alemania: Institute of Geophysics.

- Klitgord, K. and Mammerrickx, J. (1982). Northern East Pacific Rise: Magnetic Anomaly and Bathymetric Framework. *Journal of Geophysical Research*, v.87, 6725-6750.
- Larson, R., Hostetler, R., and Edwards, B. (2006). Series Infinitas; Resto de un polinomia de Taylor. En *Cálculo con Geometría Analítica* (pág. 662). C.P. 01376, MEXICO, D.F: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A DE S.V.
- Lay, T. and Wallace, T. c. (1995). *Modern Global Seismology* . San Diego, California 92101-4495, USA: Academic Press.
- Lee, W. and Lahr, J. (1972). HYPO71PC (revised): A computer program for determinig hypocenter magnitud and first-motion pattern of local earthquakes. *Open File Report, U. S Geological Survey*, 100 pp.
- Londoño, J. M., Bohorquez, O. y Ospina, L. F. (2010). Tomografía sísmica 3D del sector de Cúcuta, Colombia. *Boletín de Geología*, vol. 32, N 1, 107-124.
- Mann, P. and Corrigan, J. (1990). Model for late Neogene deformation in Panama. *Geology*, 18, 558-562., 558-562.
- Menke. W. (1984). *Geophysical Data Analisis Discrete Inverse Theory*. New York: Academic Press, Inc.
- Meyer, R. P., Mooney, W. D., Hales, A. L., Helsley, C. E., Woollard, G. P., Hussong, D. M., Ramirez, J. E. (1976). Project Narino III Refraction Observations across a leading edge: Malpelo Island to the Colombian Cordillera Occidental, in the Geophysic of the Pacific Ocean Basin and ist margin, Geophysical Monograph 19. *Americal Geophysical Union* , 105-132.
- Monsalve, H. (1998). *Geometría de la Subducción de la placa Nazca en el Noroeste de Colombia, implicaciones Tectónicas y sísmicas (Tesis de Maestría )*. D.F Ciudad de México: Universidad Autónoma de México.
- Monsalve, H. y Mora, H. (2005). Esquema Geodinámico Regional para el Noroccidente de Suramérica (Modelo de Subducción y Desplazamientos Relativos). *Boletín de Geología*, Vol. 27, No. 44., 26-53.
- Monsalve, H. y Vargas, C. (2003). *Determinación de un Modelo 3D de Velocidades en el Eje Cafetero Colombiano utilizando Tomografía Sismica Local*. Armenia: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería - CEIFI de la Universidad del Quindío.
- Monsalve, H. y Vargas., C. (2007). *Atenuación y tomografía de ondas de coda en la zona epicentral del sismo del quindío mw=6.2 (Colombia) utilizando sismicidad local*. Armenia, Colombia: Proyecto no 310, Vicerrectoría de Investigaciones Universidad del Quindío.

- Monsalve, H., Lomnitz, C. and Pacheco, J. (1999). *Geometria de la Subduccion de la Placa Nazca en el Noroeste de Colombia: Implicaciones Tectónicas y Sísmicas*. I Seminario Internacional de Riesgo Sísmico, Armenia- Quindío.
- Mooney, W., Meyer, R. L., Meyer, H. and Ramirez, J. (1981). Estudios de refracción sísmica en la Cordillera occidental de Colombia. Proyectos Nariños I Y III. *Instituto Geofísico- Universidad Javeriana*, Bogotá, Colombia. p. 23-47.
- Mora, H. (1995). *Central and South America GPS Geodesy: Relative plate motions determined from 1991 and 1994 measurements in Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panama and Venezuela*, . MSc Thesis, University of South Carolina.
- Muñoz, F. J., Vargas, C. A. and Chicangana, G. (2015). Seismicity in Colombian Llanos foothills: Characterization, relocation and local seismic tomography. *Boletín de Ciencias de la Tierra no.38 (Universidad Nacional de Colombia)*, 14-24.
- NSR- 10; *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ojeda, A. and Havskov, J. (2001). Crustal structure and local seismicity in Colombia. *Journal of Seismology, Volume 5, Issue 4*, 575–593.
- Ospina, L. K. (2002). *Determinación de un Modelo Unidimensional de Velocidades en el Eje Cafetero Colombiano utilizando Tomografía Sísmica Local (Tesis de Pregrado en ingeniería Civil)*. Armenia: Universidad del Quindío.
- OSSO. (1989). *Aproximación a las amenazas, a los riesgos y a los desastres en Colombia*. Cali: Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano.
- OSSO. (2013). *OSSO INFORMA*. Cali: Universidad del Valle, Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano.
- Page, W. (1986). *Geología Sísmica y Simicidad del Noroeste de Colombia*. San Francisco, California: Woodward-Clyde Consultants Report for ISA and Integral Ltda, 200 p.
- Paris, G., Machette, M. N., Dart, R. L. and Haller, K. M. (2000). *Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions*. Denver, Colorado, USA: U.S. Geological Survey (U.S.G.S).
- Pavlis, G. L., and Booker, J. R. (1980). The Mixed Discrete-Continuous Inverse Problem: Application to the Simultaneous Determination of Earthquake Hypocenter and Velocity Structure. *J. Geophys. Res.* 85, 4801-4810.
- Pedraza, P. (2006). *Geometría de la Subducción de la placa Nazca en el Sureste de Colombia (Tesis de Maestría)*. Bogotá, D.C: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias.

- Pedraza, P., Vargas, C. y Monsalve., H. (2007). Geometric model of the Nazca plate subduction in southwest Colombia. *Earth Sciences Research Journal*, 117-130.
- Pennington. W. D. (1981). La subducción de la cuenca Oriental de Panamá y la sismotectónica del noroeste de Sur América. *Investigaciones Geofísicas sobre las estructuras Oceano - Continentales del Occidente Colombiano*, 97-137.
- Phillips, E. (1989). *Investigación of Crustal Structure and active Tectonic Processes the Coast Ranges, California (Tesis de Doctorado)*. Department Geophysics, Stanford University.
- Quintero, R. and Kissling, E. (2001). An improved P-wave velocity reference model for Costa Rica. *Geofísica Internacional*, Vol. 40, Num. 1., 3-19.
- Sabogal, Y. A. y Jaramillo, H. M. (2005). *Algoritmos de Optimización Global para la generación de Modelos de Estructura y Velocidad Corticales usando Función Receptor*. Armenia: Universidad del Quindío- Centro de Estudios e Investigaciones de la facultad de Ingeniería - CEIFI.
- Santo, T. (1969). *Characteristics of seismicity in South America*. Tokyo, 47, 635-672: Bulletin of the Earthquake Research Institute.
- Snieder, R. and Trampert., J. (1999). Inverse Problems in Geophysics. En A. Dermanis, A. Griin, and F. Sansb, *Geomatic Methods for the Analysis of Data in the Earth Sciences* (págs. 104-175). 3508 TA Utrecht The Netherlands: Dept. of Geophysics, Utrecht University. P.O. box 80.021.
- Syracusea, E.M., Maceira, M., Prieto, G. A., Zhang, H. and Ammon, C. J. (2016). Multiple plates subducting beneath Colombia, as illuminated by seismicity and velocity from the joint inversion of seismic and gravity data. *Earth and Planetary Science Letters*, 139-149.
- Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera, C. (2000). Geodynamics of Northern Andes: Subduction and Intra-Continental deformation (Colombia). *Tectonics*, Vol. 19, No. 5, 787-813 p.
- Tar buck, E. J. and Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física*. Madrid, España: Pearson Educación S. A.
- Thurber C. H. (1983). Earthquake Locations and Three-Dimensional Crustal Structure. *Journal of Geophysical Research*, vol. 88, no. b10, 8226-8236., 8226-8236.
- Thurber, C. H. (1992). Hypocenter – velocity structure coupling in local earthquake tomography. *Phys. Earth Planet. Int.*, 75, 55-62.
- Torres, R. (2012). *Modelo 3-D del volcán galeras utilizando tomografía sísmica (Tesis de Maestría)*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.



- Vargas, C. A. (2003). *Propagación de ondas sísmicas y atenuación de ondas de Coda en el territorio Colombiano (tesis doctoral)*. Barcelona, España: Universidad de Cataluña.
- Vargas, C. A. and Monsalve., H. (2009). 3D Velocity Structure around the Source Area of the Armenia Earthquake: 25 January 1999, Mw=6.2 (Colombia). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol 61, núm. 3, 339-351.
- Vargas, C. A, Pujades, L. G., Ugalde, A. y Canas, J. A. (2003). Tomografía Sísmica Local en el Territorio Colombiano. *Revista Internacional de Métodos Numericos para Cálculo y Diseño de Ingeniería*. vol. 19, 3, 255–278.
- Vargas, C. A. and Mann, P. (2013). Tearing and Breaking Off of Subducted Slabs as the Result of Collision of the Panama Arc-Indenter with Northwestern South America . *Bulletin of the Seismological Society of America* , Vol. 103, No. 3, pp. 2025–2046, doi: 10.1785/0120120328.
- Wiechert, E. (1907). Über Erdbeben wellen.I. Theoretisches über die Ausbreitung der Erdbebenwellen, *Nachr. Ges. Wiss. Gottingen, Math.-Phys.* , Klasse, 415-529.
- Zhao, D., Hasegama, A. and Kanamori, H. (1994). Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events. *J.Geophys. Res. Vol.*, 99, 22313-22329.

## ANEXO A

### ESTACIONES SISMOLÓGICAS UTILIZADAS EN EL PRESENTE TRABAJO

N°	ESTACIONES	NOMBRE	DEPARTAMENTO	CÓDIGO	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ELEVACIÓN (M)	FECHA INSTALACION	MODELO SENSOR	MODELO DIGITALIZADOR	RED SISMOLÓGICA
1	ANIL*	ANILLO	TOLIMA	HH	44.047	75.4015	2300	23/03/2013	GURALP CMG-6TD	GURALP CD24	OVS MANIZALES
								22/02/2012	GURALP CMG-3ESP	GURALP CMG-DM24	
2	BAR (BAR2)	BARICHARÁ	SANTANDER	SH	6.5922	73.1823	1864	01/11/1991	PRODUCTS/L-4C-3D	Q330	RSNC
								08/10/2011	L-4C VERTICAL SN L4541	Q330	RSNC
3	CAP2	CAPURGANÁ	ANTIOQUIA	HH	8.6457	77.3595	229	15/03/1997	GURALP CMG-3ESPC	Q330	RSNC
4	CYOTO*	YOTOCO	VALLE DEL CAUCA	EN	3.9830	76.3450	1040	19/03/2013	GURALP CMG-5T SN T5D83	Q330	RSNC
5	SOL*	SOLANO	CHOCO	SH	6.3700	77.4577	38	28/06/1993	MARK PRODUCTS/L-4-3D	KINEMATRICS/Q330	RSNC
6	RREF *	***	***	HH	4.9008	75.3472	4743	2010-2015	GURALP CMG-3ESPCD	DM24 SN A978	OVPASTO
7	GCUF	***	***	HH	1.2260	77.3450	3800	2011-2016	GURALP CMG-3ESPCD	DM24 SN A978	RSNC
8	TOL*	TOLIMA	TOLIMA	SH	4.5887	75.3398	2577	29/09/1992	MARK PRODUCTS/L-4C-3D	GURALP/DM24-S3	RSNC
9	GUY (GUY2) *	GUYANA	CALDAS	SH	5.2237	75.3902	3600	01/07/2010	MARCK PRODUCT L4C 3D	Q330	RSNC
				SH	5.2237	75.3902	3600	21/02/2012	L-4-3D SN L4561	Q330	RSNC
10	ROS (ROSC) *	EL ROSAL	CUNDINAMARCA	HH	4.8560	74.3302	3020	21/02/1992	GURALP/CMG-3ESPC	GURALP/CMG-DM24-S3	RSNC
11	MARA*	***	***	HH	2.8425	75.9545	2207	10/05/2010	GURALP CMG-3ESPCD	DM24	RSNC
12	MON	MONTERIA	CORDOBA	HH	8.8425	75.9545	2207	14/04/2009	STS-2 SN 110445	Q330	RSNC
				EN	8.7785	75.6650	109	10/12/2012	EPISENSOR	Q330	RSNC
13	SJA*	SAN JUAN ARAMA	META	SH	3.2730	73.9510	969	31/10/2010	GEOSPACE GS-1	TIL- ACETA	RSNC
14	SML	***	***	HH	8.8010	74.0713	116	27/10/2012	REFTEK SN G10164VS	Q330	RSNC
15	SOTA*	SOTARÁ	CAUCA	HH	2.1350	76.6075	3795	21/07/2010	GURALP CMG-3T T35532	GURALP DM24 A1124	RSNC
16	BCIP	***	***	HH	9.1700	79.8400	61		KINEMATRICS/STS-2	KINEMATRICS/Q330	RSNC
17	OTAV	OTAVALO	ECUADOR	HH	0.2377	78.4508	3492	2011-2015	STRECKEISEN STS-1	Q330	GSN
18	BBAC*	BALBOA	CAUCA	HH	2.0215	77.2468	1713	22/04/2013	KINEMATRICS/STS-2.5	KINEMATRICS/Q330	RSNC
19	BET*	BETANIA	HUILA	SH	2.6813	75.4413	557	19/05/2010	MARK PRODUCTS/L-4C-3D	KINEMATRICS/Q330	RSNC
20	BRR	BARRANCA	SANTANDER	HH	7.1075	73.7123	137	01/02/2008	KINEMATRICS/STS-2	KINEMATRICS/Q330	RSNC
21	CBOC*	CIUDAD BOLIVAR	ANTIOQUIA	HH	5.8643	76.0122	1401	05/08/2013	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
22	CHI*	CHINGAZA	CUNDINAMARCA	HH	4.6330	73.7307	3140	09/09/1992	KINEMATRICS/STS-2	KINEMATRICS/Q330	RSNC

N°	ESTACIONES	NOMBRE	DEPARTAMENTO	CÓDIGO	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ELEVACIÓN (M)	FECHA INSTALACION	MODELO SENSOR	MODELO DIGITALIZADOR	RED SISMÓLOGICA
23	CRU*	CRUZ	NARINO	SH	1.4987	76.9523	2761	03/05/2006	GEOSPACE/GS-1	KINEMATRICS/Q330	RSNC
24	CUM	CUMBAL	NARINO	SH	0.8600	77.8418	3420	06/12/1992	GEOSPACE/GS-1	KINEMATRICS/Q330	RSNC
25	DBB*	DABEIBA	ANTIOQUIA	SH	7.0175	76.2097	756	26/11/2008	NANOMETRICS/TRILLIUM_C OMPACT	KINEMATRICS/Q330	RSNC
26	GARC*	GARZON	HUILA	HH	2.1867	75.4932	1999	24/02/2014	REFTEK/151B-120	KINEMATRICS/Q330	RSNC
27	HORQ*	HORQUETA	VALLE DEL CAUCA	SH	3.468	76.6337	2220	03/2009	MARK PRODUCTS/L-4-3D	KINEMATRICS/Q331	OSSO
28	GUA	GUAVIARE	GUAVIARE	SH	2.5448	72.6273	217	18/01/1997	MARK PRODUCTS/L-4-3D	KINEMATRICS/Q330	RSNC
29	LCBC	LOS CORDOBAS	CORDOBA	HH	8.8572	76.3677	75	16/11/2013	NANOMETRICS/TRILLIUM_1 20P	KINEMATRICS/Q330	RSNC
30	MACC	LA MACARENA	META	HH	2.1452	73.8477	283	30/05/2013	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
31	MAL*	MALAGA	VALLE DEL CAUCA	SH	4.0137	77.3353	75	02/11/1994	MARK PRODUCTS/L-4C-3D	KINEMATRICS/Q330	RSNC
32	MAP	ISLA MALPELO	VALLE DEL CAUCA	HH	4.0037	81.6065	137	24/05/2009	KINEMATRICS/STS-2	KINEMATRICS/Q330	RSNC
33	NIMA*	NIMA	VALLE DEL CAUCA	HH*	3,5442	76,1975	1385	11/12/2011	EPISENSOR FBA ES-T	KINEMATRICS/Q330	OSSO
34	NOR*	NORCASIA	CALDAS	HH	5.5963	74.8928	536	12/09/2010	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
35	ORTC*	ORTEGA	TOLIMA	HH	3.9092	75.2462	446	19/06/2013	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
36	PAL*	SAN JOSE DEL PALMAR	CHOCO	HH	4.9052	76.2827	675	30/09/2011	GURALP/CMG-3ESPC	KINEMATRICS/Q330	RSNC
37	PAM	PAMPLONA	NORTE DE SANTANDER	SH	7.3395	72.6995	3676	18/01/2011	MARK PRODUCTS/L-4C-3D	KINEMATRICS/Q330	RSNC
38	PIZC*	PIZARRO	CHOCO	HH	4.9653	77.3597	38	10/01/2014	NANOMETRICS/TRILLIUM_1 20P	KINEMATRICS/Q330	RSNC
39	POP2*	POPAYAN	CAUCA	HH	2.5402	76.6758	1869	07/07/2009	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
				HH	2.5402	76.6758	1869	07/07/2009	TOKIO/TSM-1	KINEMATRICS/Q330	RSNC
40	PRA*	PRADO	TOLIMA	HH	3.6953	74.9013	457	28/02/1992	KINEMATRICS/STS-2	KINEMATRICS/Q330	RSNC
41	PTB*	PUERTO BERRIO	ANTIOQUIA	HH	6.5395	74.4563	260	13/11/2011	REFTEK/151B-120	KINEMATRICS/Q330	RSNC
42	PTLC	PUERTO LEGUIZAMO	PUTUMAYO	HH	0.1705	74.7967	240	03/12/2012	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
43	CBSOL*	***	***	EN	6.2260	77.4090	38	19/03/2013	GURALP 5T SN T5D85	Q330	RSNC
44	PTA*	PUNTA ARDITA	CHOCO	HH	7.1472	77.8083	78	28/08/2012	TOKIO KEIKI/TSM-1	KINEMATRICS/Q330	RSNC
				HH	7.1472	77.8083	78	28/08/2012	REFTEK/151B-120	KINEMATRICS/Q330	RSNC
45	RUS	RUSIA	BOYACA	HH	5.9272	73.0755	3697	20/10/2005	NANOMETRICS/TRILLIUM_2 40P	KINEMATRICS/Q330	RSNC
46	SJC	SAN JACINTO	BOLIVAR	HH	9.8967	75.1795	596		REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
47	YOT*	YOTOCO	VALLE DEL CAUCA	HH	3.9835	76.3450	1040	09/12/2011	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC

N°	ESTACIONES	NOMBRE	DEPARTAMENTO	CÓDIGO	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ELEVACIÓN (M)	FECHA INSTALACION	MODELO SENSOR	MODELO DIGITALIZADOR	RED SISMOLÓGICA
48	SPBC*	SAN PABLO DE BORBUR	BOYACA	HH	5.6522	74.0723	799	10/07/2013	REFTEK/151-120A	KINEMATRICS/Q330	RSNC
49	TAM	TAME	ARAUCA	HH	6.4355	71.7913	457	25/06/2012	REFTEK/151B-120	KINEMATRICS/Q330	RSNC
50	ELA*	EL AGUILA	CALDAS	HH	4.8608	75.4003	3990	2015-2016	151-60A	REFTEK 130S	OVS MANIZALES
51	TUM	TUMACO	NARINO	HH	1.8355	78.7257	50	28/01/1997	KINEMATRICS/STS-2.5	KINEMATRICS/Q330	RSNC
52	URE*	SAN JOSE DE URE	CORDOBA	HH	7.7517	75.5327	251	01/05/2012	NANOMETRICS/TRILLIUM_1 20P	KINEMATRICS/Q330	RSNC
53	FLO2*	FLORENCIA	CAQUETÁ	HH	1.5827	75.6527	365	22/07/2011	GURALP CMG-3T N/S T35544	Q330	RSNC
				EN	1.5827	75.6527	365	01/11/2011	GURALP CMG-5TD	Guralp CMG-5TD	RSNC
				HH	1.5827	75.6527	365	17/12/2011	GURALP CMG-3ESP	Q330	RSNC
				EN	1.5827	75.6527	365	10/12/2012	GURALP CMG-5T	Q330	RSNC
54	GR1C (GOR) *	ISLA GORGONA	CAUCA	SH	3.0028	78.1672	64	29/08/2010	MARCK PRODUCT L4C 3D	Q330	RSNC
				SH	3.0028	78.1672	63	01/10/2011	L-4-3D SN L4568	Q330	RSNC
				SH	3.0028	781.672	39	31/08/2015	L-4-3D SN L4568	Q330	RSNC
55	HEL*	SANTA HELENA	ANTIOQUIA	SH	62.342	75.5477	2790	1993-2005	GEOSPACE/GS-1	Q330	RSNC
				HH	62.342	75.5477	2790	15/06/2005	GURALP/CMG-3ESPC	Q330	RSNC
				HH	6.2342	75.5477	2790	18/06/2011	CMG-3ESP SN T36659	Q330	RSNC
56	VIL	VILLAVICENCIO	META	SH	4.1120	73.6935	1109	13/10/2010	MARK PRODUCTS/L-4C-3D	KINEMATRICS/Q330	RSNC
				HH	4.1120	73.6935	1109	13/10/2010	TOKIO KEIKI/TSM-1	KINEMATRICS/Q330	RSNC
57	ZAR*	ZARAGOZA	ANTIOQUIA	HH	7.4923	74.8580	205	29/08/2011	KINEMATRICS/STS-2.5	KINEMATRICS/Q330	RSNC
59	AZU	AZUFRAL	NARIÑO	SH	7.7917	80.2740	45	2012-2016	***	***	OVS PASTO
60	CRECR*	RECREO	CALDAS	SH	4.9605	75.3525	4136	2015	GURALP-5TD		RSNC
61	GIR2	GIRÓN	SANTANDER	SH	7.0788	73.1935	1164	24/07/2012	GEOSPACE-GS1	TIL- ACDIG1216GPS	RSNC (SUBRED)
62	MUN*	MUNCHIQUE	CAUCA	SH	2.4693	76.9568	3010	1993-1996	GEOSPACE/GS-1	***	RSNC
63	OCA	OCAÑA	N. SANTANDER	SH	82.388	73.3193	1264	2011	GEOTECH-S13	NANOMETRICS-RD1	RSNC
				HH	82.388	73.3193	1264	02/04/2012	TRILLIUM 120	Q330	RSNC
64	PCON*	EL CONDOR	CAUCA	HH	2.3277	76.3970	4294	2010-2016	***	***	OVS POPAYÁN
65	PTGC	PUERTO GAITÁN	META	HH	4.1990	72.1338	170	12/12/2012	TRILLIUM 120	Q330	RSNC
								23/06/2015	REFTEK	Q330	RSNC
66	UPA	UNIVERSIDAD PANAMÁ	N/A	HH	8.9810	79.5338	41	2016	***	***	RP (PANAMÁ)
67	UPD2*	METETI,DARIEN, PANAMÁ	N/A	HH	8.5475	78.0147	86	2012-2016	***	***	RP (PANAMÁ)

\*\*\* ESTACIONES SIN INFORMACIÓN EXACTA DEL TIPO DE EQUIPOS INSTALADOS, \* ESTACIONES SISMOLOGICAS UTILIZADAS EN LA INVERSIÓN DE VELOCIDAD, "HH" ESTACIONES BANDA ANCHA, "SH" ESTACIONES CORTO PERIODO, "EN" ESTACIONES ACELEROGRÁFICAS.

## ANEXO B

### CATÁLOGO DE 101 EVENTOS SÍSMICOS PARA LA RELACIÓN WADATTI

N°	FECHA	HORA	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	PROF	MAG	NST	Gap	Rms	Ery	Erx	Erz
	aa-mm-dd	hh:mm:ss	°	°	Km			°		Km	Km	Km
1	2010-07-16	08:48:36	4,046	-76,501	25	2,2	10	146	0,1	2,6	1.7	3,1
2	2010-08-10	05:30:01	4,224	-76,655	48,3	2,2	9	159	0,07	2,6	1.8	4,2
3	2010-08-26	16:10:52	4,124	-76,729	44,4	2,0	10	172	0,1	2,5	1.6	3,4
4	2010-11-17	16:43:43	5,71	-76,609	50,4	2,2	7	168	0,05	2,9	2.2	4,1
5	2010-11-24	10:37:50	4,034	-76,427	53,9	2,5	15	143	0,09	1,9	1.3	3,7
6	2011-02-01	21:40:10	4,249	-76,585	30,2	2,4	11	159	0,07	2	1.4	2,7
7	2011-02-06	23:20:12	4,126	-76,707	25	2,0	10	160	0,09	2,2	1.7	2,9
8	2011-02-11	19:22:54	4,279	-76,547	22,6	2,1	10	159	0,1	3,2	2.6	3,7
9	2011-04-03	04:32:53	4,108	-76,69	52	2,1	11	148	0,1	2,8	2.2	3,8
10	2011-08-12	23:47:27	5,665	-77,295	6,3	3,1	11	166	0,06	3,6	3.1	4,9
11	2011-12-13	15:22:22	5,839	-76,632	6,1	2,4	7	143	0,05	3	2.0	4,3
12	2012-01-02	15:03:44	4,19	-76,767	49,3	2,3	10	141	0,1	2,4	1.5	2,7
13	2012-01-25	12:34:48	5,439	-77,599	40	2,8	11	118	0,1	3,4	3.1	4,4
14	2012-02-24	12:16:30	4,176	-76,632	21,8	2,2	13	175	0,1	2,4	1.8	3,3
15	2012-03-03	08:01:21	4,349	-76,673	45,7	2,2	9	152	0,07	2,5	1.7	3,9
16	2012-03-04	19:35:28	4,198	-76,612	10,1	2,5	10	177	0,08	2,3	1.3	3,5
17	2012-03-05	13:47:22	4,351	-76,685	46,9	3,0	11	153	0,1	2,4	1.6	3,7
18	2012-04-08	00:03:25	4,29	-76,689	51	2,3	13	147	0,09	3,4	2.2	2,8
19	2012-05-11	00:57:37	4,186	-76,597	60	2,0	8	128	0,06	2,9	1.7	4,7
20	2012-06-29	23:01:13	4,182	-76,673	5,5	2,0	8	133	0,02	1,9	1.3	4,8
21	2012-07-27	03:16:47	4,066	-76,704	51,7	2,3	7	121	0,06	2,5	2.0	3,3
22	2012-08-25	06:22:12	4,46	-76,69	25,8	2,1	11	167	0,1	2,6	1.8	2,5
23	2012-08-27	07:00:06	4,451	-76,56	26	2,0	9	151	0,1	2	1.6	1,9
24	2012-08-31	11:12:24	4,575	-76,667	26,8	2,0	8	179	0,04	2,1	1.5	1,9
25	2012-09-22	12:08:25	4,406	-76,702	54	2,8	12	162	0,1	2,4	1.6	4,6
26	2012-10-29	00:22:14	4,37	-76,783	25,2	2,1	8	166	0,09	2,1	1.4	2,8
27	2012-11-28	01:46:38	4,008	-76,481	56,3	2,3	15	153	0,08	1,8	1.1	2,1
28	2012-12-31	11:14:01	4,128	-76,869	16,2	2,5	7	151	0,09	2,3	1.2	3,4
29	2013-02-03	06:49:40	5,953	-76,898	59,5	2,9	10	115	0,09	2,7	1.5	4,7
30	2013-03-25	11:17:40	5,966	-77,722	55,2	2,8	8	137	0,07	3,8	3.2	4,2
31	2013-06-05	15:45:29	4,223	-76,769	49,6	2,0	7	165	0,05	2,9	1.5	2,5
32	2013-06-21	00:42:06	4,346	-76,823	23,4	2,0	8	167	0,07	2	1.3	2,5
33	2013-06-21	06:37:04	4,305	-76,82	47	2,0	10	161	0,1	2,3	1.5	3
34	2013-07-15	08:46:59	4,211	-76,745	48,3	2,6	11	139	0,08	2,1	1.3	2,2
35	2013-08-07	00:59:10	4,118	-76,845	26,8	2,0	11	153	0,1	2,7	1.1	2,4

36	2013-08-17	15:14:34	4,486	-76,692	46	2,4	11	159	0,1	2,5	1.7	3,5
37	2013-08-18	19:45:28	4,457	-76,684	55,2	2,2	8	150	0,1	2,8	2.2	4,7
38	2013-08-18	22:22:02	4,441	-76,698	28	2,1	12	156	0,08	1,8	1.3	1,7
39	2013-08-24	18:40:08	4,512	-76,741	50,9	2,5	15	158	0,09	2	1.5	2
40	2013-09-30	04:47:37	4,112	-76,862	24,3	2,0	8	154	0,1	3	1.2	2,7
41	2013-11-23	19:47:16	4,272	-76,873	51	2,1	8	162	0,09	2,9	1.9	3,3
42	2013-12-04	17:03:08	5,772	-77,419	10,9	2,6	10	167	0,05	2,4	2.0	4
43	2013-12-25	22:23:53	5,909	-77,53	56,4	2,6	9	173	0,06	2,9	2.3	3,8
44	2013-12-25	23:30:14	5,715	-77,096	16	2,3	7	175	0,08	2,8	2.0	3,6
45	2013-12-27	21:19:14	5,757	-77,432	10,5	2,4	8	168	0,06	2,8	2.2	4
46	2014-01-05	04:35:04	4,548	-76,595	26,6	2,2	9	167	0,02	1,7	1.2	1,6
47	2014-01-05	05:23:28	4,579	-76,647	24,6	2,3	11	178	0,1	2,1	1.4	1,9
48	2014-01-05	10:19:28	4,743	-76,704	55,6	3,1	12	114	0,09	1,8	1.3	3
49	2014-01-05	11:53:39	4,556	-76,628	28	2,3	9	172	0,08	2,2	1.7	1,8
50	2014-01-05	13:26:57	4,573	-76,631	24,5	2,0	12	175	0,09	1,9	1.4	1,6
51	2014-01-05	13:56:26	4,579	-76,589	49,2	2,7	9	159	0,09	2,9	2.4	2,5
52	2014-01-06	03:41:12	4,557	-76,585	42,5	2,0	9	167	0,09	3	2.1	4,5
53	2014-01-08	02:23:26	4,621	-76,607	48,9	2,6	10	139	0,1	3,6	2.5	2,6
54	2014-01-09	10:19:54	4,565	-76,652	24,6	2,1	11	162	0,09	1,8	1.3	1,7
55	2014-01-10	21:47:34	4,439	-76,666	27,9	2,1	10	162	0,1	2	1.3	1,9
56	2014-01-11	08:05:37	5,366	-76,675	6	2,0	12	156	0,1	2,1	1.6	3,8
57	2014-01-20	07:23:19	5,826	-76,906	6	2,1	10	169	0,1	2,3	1.6	3,9
58	2014-01-24	19:23:27	4,654	-76,653	49,6	2,7	13	101	0,07	2	1.3	2,5
59	2014-02-01	20:46:23	4,593	-76,676	30,1	2,0	10	147	0,09	2,6	1.9	2,3
60	2014-02-03	12:34:34	4,686	-76,633	10	2,0	13	133	0,1	3,8	2.3	4,3
61	2014-02-12	14:31:15	4,739	-76,612	56	2,2	7	166	0,08	3,1	1.7	4,7
62	2014-03-18	12:55:26	4,649	-76,661	49	2,4	16	76	0,1	2,5	1.3	3,8
63	2014-03-23	14:50:42	4,304	-76,776	24,3	2,0	7	143	0,02	3,2	1.3	4,1
64	2014-03-27	12:52:23	5,855	-77,592	44,8	2,8	11	178	0,08	3,4	3.2	3
65	2014-03-28	10:34:03	4,324	-76,45	56	2,3	11	125	0,1	1,9	1.2	3,2
66	2014-04-04	15:07:04	4,064	-76,849	50	2,0	13	91	0,09	2,8	1.9	3,8
67	2014-05-03	18:07:50	5,872	-77,404	48,1	2,0	10	165	0,1	2,5	2.1	4,2
68	2014-05-15	06:28:23	5,122	-77,037	51,8	2,0	10	169	0,08	4,6	3.4	4,1
69	2014-05-26	14:26:08	4,068	-76,836	48,5	2,2	16	91	0,1	3,7	2.4	4,5
70	2014-05-31	09:00:22	4,31	-76,779	27,4	2,1	13	115	0,1	4	1.5	4,7
71	2014-06-11	08:20:30	4,145	-76,592	50,6	2,1	12	137	0,09	1,9	1.1	1,8
72	2014-06-17	03:06:44	4,272	-76,827	50,8	2,5	10	144	0,03	2,8	1.7	3,2
73	2014-07-22	09:51:43	4,809	-76,702	42,4	2,4	18	92	0,08	3	1.5	4,3
74	2014-10-07	17:33:02	4,428	-76,747	59,9	2,3	16	93	0,08	2,6	1.8	3,8
75	2014-10-16	20:06:48	5,658	-76,615	6,1	2,4	12	139	0,08	2,1	1.8	2,8
76	2014-11-02	21:22:02	5,121	-76,577	47,5	2,2	9	156	0,1	2,5	2.0	4,1

77	2014-11-13	14:21:15	4,098	-76,663	49	2,1	12	147	0,09	2,5	1.2	2,5
78	2014-11-14	08:26:46	4,157	-76,878	22,6	2,5	10	145	0,1	2,1	1.2	2,3
79	2014-11-20	17:35:43	4,047	-76,9	52,1	2,2	12	130	0,1	2	1.4	3,7
80	2014-11-20	18:27:06	4,173	-76,884	24	2,3	10	149	0,08	3,1	1.2	3
81	2014-11-21	18:22:10	5,871	-77,319	13	3,0	11	162	0,07	2,1	1.9	3,1
82	2015-01-20	13:16:53	4,339	-76,778	25,8	2,5	16	99	0,08	1,5	0.9	1,6
83	2015-01-23	18:33:08	4,099	-76,754	47,5	2,2	12	129	0,1	2,4	1.9	4,1
84	2015-01-25	06:11:11	5,872	-76,525	47,1	2,2	10	77	0,08	1,9	1.3	3,6
85	2015-02-07	08:14:25	4,012	-76,826	26,3	2,0	11	121	0,1	1,6	1.0	1,5
86	2015-02-25	21:17:50	5,79	-76,901	51,7	2,2	10	171	0,1	2,3	1.6	2,5
87	2015-03-29	13:26:22	5,722	-77,157	17,8	2,3	12	140	0,09	1,9	1.5	2,7
88	2015-03-30	23:22:55	5,917	-76,87	50,3	2,7	10	100	0,1	2,1	1.3	3,2
89	2015-07-10	11:17:29	5,724	-76,914	22	2,8	8	178	0,09	2,7	1.8	3,1
90	2015-08-11	09:30:40	4,357	-76,777	50,7	2,3	11	164	0,09	2,5	1.7	2,5
91	2015-08-28	16:27:14	4,069	-76,76	51,6	2,1	10	146	0,1	2,8	1.5	2,2
92	2015-10-05	09:55:53	5,916	-77,364	18	2,0	8	169	0,09	2,3	1.9	3,5
93	2015-10-11	13:27:31	4,508	-76,706	20,9	2,1	11	149	0,1	3,1	2.4	3,8
94	2015-10-16	13:30:52	5,694	-76,925	22,2	2,3	11	161	0,1	2,1	1.4	2,5
95	2015-12-19	11:28:57	4,042	-77,093	6,1	2,4	11	178	0,09	2,6	2.3	4,1
96	2016-02-04	16:13:00	5,992	-76,952	57,4	2,3	14	144	0,07	1,7	1.2	3
97	2016-04-24	10:18:48	5,693	-76,699	6	2,1	10	160	0,07	2,3	1.6	3,5
98	2016-04-27	23:57:09	4,59	-77,257	51,9	2,3	11	157	0,09	4,7	4.5	4,3
99	2016-05-07	05:58:28	4,204	-76,73	53,3	2,3	14	131	0,08	2,5	1.9	4,3
100	2016-05-26	12:42:33	5,607	-77,335	45,1	2,2	11	169	0,09	4,9	4.1	4,9
101	2016-05-30	00:29:50	5,814	-77,306	3	2,3	11	161	0,09	2,2	1.9	4

## ANEXO C

MODELOS DE VELOCIDAD (Vp) DE ENTRADA Y SALIDA UTILIZADOS EN EL PRESENTE TRABAJO.

Modelos	Entrada Velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	4,8	5,89	5,89	0	
	6,6	5,89	5,89	4	
RSNC Modificada	7	6,86	6,87	25	0,069583
	8	6,98	6,99	32	0,069203
	8,1	7,68	7,70	100	
	4,14	3,55	3,91	0	
	5,92	6,00	5,98	6	
General Quindío	6,89	6,93	6,93	30	0,049078
	7,31	7,36	7,36	52	0,047887
	7,66	7,70	7,70	66	
	7,89	7,70	7,70	100	
	6,05	3,49	4,48	0	
	6,06	6,09	6,08	6	0,054582
Vargas	6,84	6,98	6,98	30	0,054381
	8,25	7,65	7,65	66	
	8,68	7,86	7,99	100	
	5,5	2,92	3,99	0	
	6,1	6,15	6,10	6	0,053155
Ocola 7	6,8	6,95	6,94	30	0,051802
	7,3	7,38	7,38	52	
	7,8	7,72	7,72	66	
	9,1	7,72	7,80	100	
	5,2	3,27	4,22	0	
	6	6,06	6,00	6	
OSQ	7	6,94	6,93	30	0,051552
	7,4	7,37	7,36	52	0,049283
	7,8	7,70	7,71	66	
	8	7,70	7,71	100	

Modelos	Entrada Velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	5,2	3,27	4,22	0	
Msupaltas	6	6,06	6,00	6	0,051565
	7	6,94	6,93	30	0,049283
	7,4	7,36	7,36	52	
	7,8	7,70	7,71	66	
	8	7,71	7,71	100	
	4,5	4,96	4,93	0	
	5,5	6,57	6,55	20	
Escalalt	6,5	7,11	7,10	38	0,059826
	7,5	7,62	7,61	59	0,059719
	7,6	7,78	7,75	110	
	3,5	6,16	6,16	0	
Mprofaltas	7,5	7,57	7,57	60	0,081779
	8,5	7,96	8,06	100	0,081666
	3	5,55	5,36	0	
	3,5	6,26	6,02	20	
Mbloqaltas	6,5	6,91	6,89	30	0,049921
	3,5	7,33	7,31	50	0,051483
	3	7,57	7,54	60	
	2,5	7,57	7,55	100	
	4,5	5,74	5,24	0	
	4,8	5,74	5,84	4	
Ojeda Mod	6,6	6,78	6,78	25	0,073521
	7	6,78	6,78	32	0,067157
	8	7,15	7,15	40	
	8,1	7,75	7,76	100	
	3,36	3,31	3,52	0	
	5,98	6,06	6,00	6	
Tolima	6,83	6,94	6,93	30	0,051621
	7,4	7,37	7,36	52	0,049200
	7,4	7,71	7,70	66	
	7,41	7,71	7,70	100	



Modelos	Entrada Velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	5,79	6,60	6,61	0	
	7,7	7,64	7,64	61	
Subduccion	8	7,75	7,75	80	0,084714
	8,12	7,75	7,75	90	0,084058
	8,6	8,21	8,52	150	
	8,71	8,71	8,71	205	
	4	5,89	4,58	0	
	5,5	5,89	5,93	2	
Dimate	6,4	5,89	5,93	5	0,069738
	7,1	6,79	6,80	25	0,069153
	8,1	7,03	7,04	35	
	8,2	7,78	7,86	110	
	6,05	3,13	4,18	0	
	6,06	6,10	6,07	6	
Vargas 2	6,84	6,99	6,99	30	0,056155
	8,25	7,73	7,73	66	0,055668
	8,68	7,73	7,74	100	
	5,5	3,26	4,32	0	
	6,1	6,18	6,14	6	
Ocola 2	6,8	6,95	6,94	30	0,057576
	7,3	7,45	7,45	52	0,05743
	7,8	7,78	7,76	80	
	9,1	7,78	7,82	100	
	4,8	5,84	5,58	0	
	6,6	5,84	5,89	4	
Ojeda 2001 (Osso)	7	6,81	6,79	25	0,063267
	8	6,89	6,91	32	0,063193
	8,1	7,12	7,13	40	
	8,2	7,76	7,77	100	
	7,5	5,89	5,93	0	
	6,5	6,76	6,76	20	
Escalbaj	5,5	7,07	7,07	38	0,059573
	4,5	7,58	7,58	59	0,059082
	4,6	7,58	7,58	100	
	3,5	4,91	4,88	0	
Raro 1	4	6,71	6,69	20	0,072799
	6	7,40	7,37	50	0,073215
	6,5	7,92	7,80	100	

Modelos	Entrada Velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	4	4,44	4,10	0	
	5,5	4,44	4,28	1	
OSSO 2	6,1	6,17	6,15	6	0,060781
	6,8	6,99	7,00	30	0,059072
	7,3	7,68	7,68	66	
	7,8	7,68	7,69	100	
	9,1	7,68	7,94	110	
	6,5	5,83	5,84	0	
	5	6,51	6,52	20	
Bloqbajas	3	6,93	6,93	30	0,049271
	5	7,34	7,29	50	0,050385
	6,5	7,59	7,57	60	
	6,8	7,59	7,57	100	
	4	4,97	4,17	0	
	5,5	4,97	4,18	1	
OSSO 1km	6,1	6,25	6,26	7	0,066279
	6,8	7,01	7,01	31	0,063319
	7,3	7,69	7,69	66	
	7,8	7,69	7,71	100	
	9,1	7,69	7,95	110	
	3,6	3,72	3,74	0	
	5,7	5,95	5,95	6	
Gquindiobaja	6,7	6,93	6,93	30	0,047946
	7	7,36	7,35	52	0,047792
	7,3	7,70	7,69	66	
	7,6	7,70	7,69	100	
	1,45	5,42	2,68	0	
	5,8	5,42	5,92	3	
	6,8	5,53	5,92	15	
PREM	8,1	6,80	6,84	25	0,060868
	8,8	7,13	7,13	40	0,055705
	8,07	7,61	7,63	60	
	8,05	7,68	7,83	100	
	3,6	3,20	3,54	0	
	6,2	6,08	6,02	6	
Gquindioalta	7	6,94	6,94	30	0,051858
	7,36	7,37	7,37	52	0,049449
	7,7	7,71	7,71	66	
	7,7	7,71	7,71	100	

Modelos	Entrada velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		$\lambda$			
		A	B	Prof (km)	
	7	6,06	6,06	0	
Msupbajas	3	6,74	6,74	20	0,088918
	3,2	7,50	7,50	100	0,088923
	7,5	6,59	6,59	0	
Mprofbajas	3,5	7,40	7,40	50	0,081107
	3,6	7,45	7,47	100	0,081133
	3,6	3,29	3,61	0	
	6	6,06	6	6	
Monsalve	6,93	6,94	6,93	30	0,051595
	7,36	7,37	7,36	52	0,049212
	7,7	7,71	7,7	66	
	7,71	7,71	7,7	100	
	5,2	5,58	5,58	0	
Lindo A	6,2	6,19	6,2	15	0,053428
	6,8	6,91	6,91	30	0,053455
	8	7,39	7,39	50	
	8,1	7,9	7,92	100	
	5,2	4,83	4,92	0	
	6,4	5,91	5,93	5	
Chile Aysen	6,5	5,91	5,93	10	0,050561
	7,3	6,24	6,29	23	0,050415
	7,6	6,92	6,94	30	
	8	7,08	7,1	40	
	8,1	7,6	7,62	60	
	6,08	2,9	3,93	0	
	6,12	6,21	6,23	6	
230	6,81	6,96	6,96	30	0,054154
	7,3	7,39	7,4	52	0,054739
	7,8	7,74	7,76	66	
	8	7,74	7,76	100	
	5,5	2,94	3,95	0	
Ocola 4	6,1	6,16	6,14	6	0,053343
	6,8	6,95	6,94	30	0,053419
	7,3	7,38	7,38	52	
	7,8	7,72	7,72	66	
	8	7,72	7,72	100	

Modelos	Entrada Velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		$\lambda$			
		A	B	Prof (km)	
	5,23	2,45	3,39	0	
	6	6,48	6,49	6	
Ocola 5	6,21	6,98	6,96	30	0,068681
	7,41	7,42	7,41	52	0,070455
	7,83	7,78	7,78	66	
	8	7,79	7,78	100	
	5,55	5,24	5,27	0	
	6	5,93	5,94	8	
Mbloqaltas 8	6,26	5,98	5,99	20	0,048894
	6,91	6,92	6,92	30	0,048737
	7,33	7,32	7,33	50	
	7,57	7,56	7,56	60	
	7,57	7,57	7,56	100	
	4	5,21	4,51	0	
	5,61	5,45	5,33	6	
Salcedo	5,96	5,94	6,11	9	0,048823
	6,92	6,92	6,93	30	0,053728
	7,34	7,32	7,33	50	
	7,56	7,56	7,57	60	
	7,56	7,6	7,59	100	
	3,7	5,22	4,41	0	
	5,61	5,42	5,87	6	
Salcedo2	5,96	5,94	5,95	9	0,048803
	6,92	6,92	6,92	30	0,048898
	7,34	7,32	7,32	50	
	7,56	7,56	7,56	60	
	7,56	7,6	7,62	100	
	2,49	4,54	2,93	0	
	3,19	4,54	3,24	1	
	3,37	4,54	3,38	3	
Eje Cafetero	5,92	5,91	5,95	4	0,051376
	6,13	6,21	6,24	24	0,051514
	6,61	6,94	6,95	30	
	7,01	7,04	7,05	38	
	7,61	7,60	7,60	59	
	8,2	7,64	7,90	100	

Modelos	Entrada velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	3,6	4,05		0	
	5,8	6,04		1	
Cuba Oriental	6,9	6,04		7	0,075728
	7,5	6,64		20	
	7,6	6,85		26	
	7,8	7,05		34	
	5,2	5,55		0	
	5,4	5,59		2	
Piedemonte	6,5	6,24		10	0,073835
	7,5	7,03		32	
	7,8	7,17		40	
	7,9	7,79		100	
	3,5	3,99		0	
	4	4,17		3	
	4,5	5,33		5	
	5	6,02		10	
	5,5	6,02		15	
Monsalve 3	6	6,02		20	0,049072
	6,3	6,02		25	
	6,5	6,94		30	
	6,9	7,01		40	
	7,1	7,34		50	
	7,2	7,56		60	
	7,3	7,81		70	
	7,4	7,82		80	
	7,5	7,82		90	
	7,6	7,82		100	
	4,05	4,2		0	
	5,61	5,62		5	
	5,96	6,01		10	
	5,96	6,01		20	
Monsalve 8	6,93	6,96		30	0,054414
	6,99	6,97		40	
	7,33	7,34		50	
	7,55	7,56		60	
	7,8	7,8		70	
	7,8	7,81		80	
	7,8	7,81		90	
	7,8	7,81		100	

Modelos	Entrada velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	5	5,66	5,66	0	
	5,5	5,78	5,83	8	
	6,51	6,41	6,4	20	
Bloqbajas 8	6,93	6,9	6,9	30	0,049804
	7,34	7,32	7,33	50	0,04933
	7,59	7,57	7,57	60	
	7,59	7,57	7,57	100	
	3,7	4,38		0	
	4	4,38		3	
	5	5,72		6	
Mbloqaltas 10	5,3	5,95		9	0,048128
	6	5,95		12	
	6,51	5,95		20	
	6,93	6,92		30	
	7,34	7,33		50	
	7,59	7,56		60	
	7,59	7,64		100	
	3,5	4,05		0	
	5	5,61		5	
	5,5	5,96		10	
	6	5,96		20	
Monsalve 2	6,5	6,93		30	0,048792
	6,9	6,99		40	
	7,1	7,33		50	
	7,2	7,55		60	
	7,3	7,8		70	
	7,4	7,8		80	
	7,5	7,8		90	
	7,6	7,8		100	
	3,7	5,25		0	
	5,6	5,56		6	
	5,7	5,73		8	
Salcedo 3	5,96	5,94		10	0,048832
	6,92	6,91		30	
	7,34	7,32		50	
	7,56	7,56		60	
	7,56	7,59		100	

Modelos	Entrada velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	3,8	4,38		0	
	4	4,38		3	
	5	5,43		6	
Bloqbajas 10	5,5	6,00		9	0,04984
	5,9	6,00		12	
	6	6,01		20	
	6,93	6,93		30	
	7,34	7,33		50	
	7,59	7,57		60	
	7,59	7,65		100	
	4,5	4,92		0	
	6	5,90		1	
Panama	7,3	5,98		7	0,058072
	7,7	6,21		20	
	8,1	6,90		28	
	8,3	7,25		43	
	8,4	7,88		100	
	3,7	5,25		0	
	5,6	5,56		6	
	5,7	5,73		8	
Salcedo 3	5,96	5,94		10	0,048832
	6,92	6,91		30	
	7,34	7,32		50	
	7,56	7,56		60	
	7,56	7,59		100	
	4,00	4,49		0	
	6,80	5,93		7,5	
Flüh	6,90	5,94		15	0,047908
	6,10	6,93		30	
	6,80	7,34		50	
	7,00	7,76		70	
	7,89	7,77		100	
	4,50	4,67		0	
	6,15	5,9		3	
Mooney 2	7,00	5,9		11	
	7,00	6,06		15	0,051762
	7,45	6,07		21	
	8,20	6,94		29	
	8,30	7,42		50	
	8,40	7,97		100	

Modelos	Entrada velocidad (km/s)	Salida Velocidad (km/s)			Rms Residual (A Y B)
		λ			
		A	B	Prof (km)	
	4,30	4,65		0	
	6,15	5,92		3	
Mooney 3	7,00	5,92		11	
	6,70	6,13		15	0,052203
	7,35	6,13		19,5	
	6,90	6,29		23,5	
	8,20	6,95		30	
	8,40	7,43		50	
	8,50	7,98		100	
	3.70	4.38		0	
	4.00	4.38		3.00	
	5.00	5.72		6.00	
	5.30	5.95		9.00	
Mbloqaltas10	6.00	5.95		12.00	0,048128
	6.51	5.95		20.00	
	6.93	6.92		30.00	
	7.34	7.33		50.00	
	7.59	7.56		60.00	
	7.59	7.64		100.00	
	4,00	5,55	5,48	0	
Pennintong	4,00	5,55	5,63	10	
	6,90	6,33	6,19	15	0,53687
	7,00	6,92	6,91	30	0,048894
	7,20	7,34	7,32	50	
	7,30	7,57	7,55	60	
	7,40	7,71	7,72	70	
	7,89	7,71	7,72	100	
	5.55	5.24	5.27	0	
	6.00	5.93	5.94	8.00	
Mbloqaltas8	6.26	5.98	5.99	20.00	0,048894
	6.91	6.92	6.92	30.00	0,048737
	7.33	7.32	7.33	50.00	
	7.57	7.56	7.56	60.00	
	7.57	7.57	7.56	100.00	
	5.00	5.66	5.66	0	
	5.50	5.78	5.83	8.00	
	6.51	6.41	6.40	20.00	0,049804
Bloqbajas8	6.93	6.90	6.90	30.00	0,04933
	7.34	7.32	7.33	50.00	
	7.59	7.57	7.57	60.00	
	7.59	7.57	7.57	100.00	

## ANEXO D

### CATÁLOGO DE EVENTOS SÍSMICOS INVERTIDOS CON EL PROGRAMA VELEST 1D.

N°	FECHA	HORA		LATITUD (N)	LONGITUD (W)	PROF	MAG	NST	Gap	Rms	Ery	Erx	Erz
	aa-mm-dd	hh:mm	ss	°	°	Km			°		Km	Km	Km
1	1993-07-07	16:00	48,61	5,0713	- 76,5016	64,96	2,0	5	134	0,056	0,006	0,008	0,001
2	1993-08-12	16:19	55,87	5,8180	- 77,0399	40,18	3,0	4	198	0,000	0,003	0,003	0,002
3	1993-08-16	06:35	5,96	4,6999	- 77,7152	0,38	3,8	3	207	0,000	0,001	0,002	0,000
4	1993-08-29	05:43	54,08	4,1341	- 76,5228	130,02	2,6	6	143	0,060	0,003	0,005	0,002
5	1993-09-07	21:25	13,19	4,1971	- 76,9445	53,02	2,7	4	234	0,001	0,004	0,000	0,004
6	1993-10-06	01:32	33,46	5,0724	- 77,1603	42,71	2,4	3	293	0,000	0,001	0,001	0,002
7	1993-10-08	22:35	57,89	4,7645	- 76,6711	66,1	2,6	4	236	0,034	0,002	0,005	0,002
8	1994-01-14	03:51	16,39	5,2148	- 76,5183	62,54	3,4	4	188	0,000	0,004	0,001	0,003
9	1994-01-23	13:09	31,31	4,7311	- 76,4520	94,84	2,9	7	198	0,054	0,002	0,005	0,000
10	1994-01-25	10:24	8,86	4,4867	- 76,5284	114,63	2,8	6	141	0,066	0,002	0,005	0,001
11	1994-02-12	20:49	18,77	5,3604	- 76,4661	39,24	2,7	4	180	0,000	0,001	0,004	0,001
12	1994-02-22	10:32	25,8	4,1395	- 76,7122	64,3	3,2	6	204	0,081	0,005	0,007	0,003
13	1994-02-25	21:36	27,99	4,2008	- 76,5872	108,49	2,5	5	194	0,018	0,003	0,004	0,001
14	1994-03-09	08:48	59,62	5,0054	- 77,0557	36,71	3,6	5	167	0,080	0,002	0,001	0,003
15	1994-03-12	02:35	57,16	4,4059	- 76,5183	94,77	3,2	5	220	0,009	0,001	0,004	0,000
16	1994-03-26	12:51	50,02	5,2899	- 76,5027	53,4	3,5	4	185	0,034	0,001	0,005	0,012
17	1994-03-27	10:59	25,29	4,3345	- 76,5475	64,7	3,5	4	225	0,000	0,003	0,007	0,002
18	1994-05-07	16:02	30,19	4,2024	- 76,4853	75,42	3,0	5	212	0,013	0,003	0,004	0,001
19	1994-08-26	09:39	59,82	5,7743	- 76,6352	51,24	2,9	5	166	0,071	0,039	0,032	0,186
20	1995-02-08	20:07	4,95	4,1307	- 76,7042	133,58	3,5	5	110	0,034	0,004	0,005	0,012
21	1995-02-08	20:29	44,01	4,1245	- 76,6046	82,19	3,5	6	124	0,071	0,003	0,001	0,006
22	1995-02-08	20:47	47,34	4,1617	- 76,6849	118,45	3,8	6	83	0,025	0,006	0,004	0,009
23	1995-02-08	22:08	59,36	4,1433	- 76,5775	95,73	2,7	4	125	0,001	0,004	0,003	0,004
24	1995-02-09	00:54	59,96	4,1036	- 76,6385	111,4	2,4	5	124	0,001	0,004	0,004	0,007
25	1995-02-09	01:54	53,97	4,0619	- 76,6340	97,44	2,8	6	119	0,046	0,004	0,002	0,006
26	1995-02-09	02:33	31,85	3,9630	- 76,5737	67,04	3,1	5	149	0,056	0,003	0,000	0,008
27	1995-02-09	04:37	20,6	4,1460	- 76,5767	85,19	2,6	5	125	0,022	0,000	0,001	0,014
28	1995-02-09	06:29	6,13	4,1751	- 76,6809	116,31	3,5	5	91	0,018	0,005	0,004	0,007
29	1995-02-09	06:40	5,79	4,0207	- 76,5511	62,34	2,1	4	154	0,001	0,006	0,003	0,003
30	1995-02-10	03:03	2,95	4,0354	- 76,6113	84,24	2,5	6	116	0,029	0,006	0,002	0,004
31	1995-02-10	04:09	49,13	4,0774	- 76,6317	92,75	2,7	5	121	0,010	0,005	0,002	0,010
32	1995-02-10	04:26	50,82	4,0658	- 76,5792	91,99	2,8	6	118	0,071	0,005	0,001	0,010
33	1995-02-10	19:03	51,11	3,9991	- 76,5299	61,16	3,7	5	156	0,026	0,007	0,002	0,000
34	1995-02-13	04:21	46,1	3,9380	- 76,5213	48,16	2,2	4	136	0,000	0,002	0,004	0,004
35	1995-02-16	17:56	31,56	3,9823	- 76,5238	61,09	2,8	4	149	0,001	0,005	0,005	0,000

36	1995-02-17	06:26	20,96	4,1184	- 76,5442	103,24	2,3	4	127	0,001	0,004	0,004	0,007
37	1995-02-19	17:40	33,29	4,1567	- 76,5960	105,74	3,1	3	189	0,000	0,001	0,004	0,000
38	1995-02-20	18:52	23,18	4,1164	- 76,6237	97,02	3,2	6	124	0,007	0,005	0,003	0,005
39	1995-02-21	07:01	38,67	4,1201	- 76,5817	91,71	2,8	5	124	0,057	0,004	0,003	0,005
40	1995-02-23	01:26	33,51	4,0458	- 76,5744	93,93	2,6	4	117	0,001	0,006	0,003	0,005
41	1995-02-23	10:23	27,61	4,1203	- 76,7049	139,98	2,8	5	115	0,012	0,005	0,004	0,011
42	1995-02-28	04:38	51,12	4,0050	- 76,5152	63,36	2,5	5	152	0,009	0,005	0,005	0,000
43	1995-03-01	07:07	56,16	4,0109	- 76,5065	69,83	2,4	5	112	0,027	0,005	0,002	0,009
44	1995-03-01	23:47	18,05	4,1224	- 76,6515	108,64	4,2	4	125	0,001	0,004	0,003	0,007
45	1995-03-02	22:44	28,93	4,1063	- 76,6399	105,63	3,2	4	124	0,001	0,004	0,003	0,007
46	1995-03-05	20:49	1,05	3,9767	- 76,5565	68,6	2,5	4	132	0,001	0,009	0,008	0,005
47	1995-03-10	19:55	59,53	4,1248	- 76,6466	106,08	3,1	4	126	0,001	0,006	0,003	0,007
48	1995-03-29	04:54	7,78	4,0515	- 76,6158	98,05	2,7	2	201	0,000	0,001	0,003	0,001
49	1995-03-31	02:13	44,48	4,1735	- 76,5730	97,93	2,5	4	154	0,001	0,004	0,003	0,005
50	1995-04-15	07:40	48,88	4,1661	- 76,6999	120,86	3,1	4	118	0,002	0,006	0,004	0,013
51	1995-05-26	08:40	6,02	4,4442	- 76,8266	193,47	3,2	4	119	0,001	0,003	0,009	0,003
52	1995-06-17	05:03	59,95	4,1487	- 76,5971	98,12	3,7	4	170	0,098	0,001	0,002	0,008
53	1995-06-17	06:53	54,02	4,8668	- 77,4986	51,5	3,3	3	192	0,000	0,003	0,003	0,002
54	1995-08-01	05:12	32,81	4,8619	- 77,6885	97,36	2,4	4	206	0,002	0,001	0,005	0,010
55	1995-10-21	05:35	52,49	4,7488	- 76,4727	111,47	2,6	5	136	0,001	0,000	0,006	0,003
56	1995-10-26	19:23	11,12	4,8014	- 76,6573	61,27	2,2	4	275	0,000	0,004	0,000	0,002
57	1995-10-31	07:32	41,17	4,3699	- 76,6216	105,65	2,3	4	198	0,000	0,002	0,003	0,001
58	1995-11-05	09:14	54,74	3,9730	- 76,5363	60,47	2,3	5	132	0,044	0,007	0,004	0,001
59	1995-11-05	20:23	18,65	4,2532	- 76,4324	107,82	2,3	5	128	0,046	0,003	0,005	0,004
60	1995-11-06	01:00	16,2	3,9868	- 77,0031	77,37	2,9	5	117	0,067	0,007	0,000	0,003
61	1995-11-06	10:00	52,75	4,0031	- 76,6924	89,74	2,0	5	137	0,031	0,004	0,001	0,006
62	1995-11-09	15:22	7,56	4,1927	- 76,4423	99,8	3,7	4	124	0,001	0,004	0,004	0,004
63	1995-11-09	16:53	53,42	5,1211	- 76,5440	82,8	2,9	5	185	0,004	0,005	0,004	0,004
64	1995-11-13	11:47	15,12	5,7808	- 76,7104	30,3	2,1	4	179	0,005	0,004	0,003	0,000
65	1995-11-15	09:04	46,75	5,3430	- 77,3843	1,46	2,4	4	179	0,028	0,002	0,002	0,004
66	1995-12-12	03:18	53,39	4,0671	- 76,7954	131,89	3,2	6	84	0,093	0,004	0,005	0,010
67	1995-12-15	10:26	49,86	4,4040	- 76,8725	33,7	2,8	6	161	0,038	0,002	0,003	0,007
68	1995-12-24	05:00	30,57	4,0601	- 76,6457	66,02	2,4	3	285	0,001	0,008	0,001	0,000
69	1995-12-30	20:56	0,42	4,8214	- 76,8713	39,96	2,3	4	245	0,000	0,000	0,001	0,003
70	1996-01-02	02:27	0,77	4,1146	- 76,5673	94,97	2,3	5	122	0,023	0,006	0,003	0,026
71	1996-01-10	21:13	52,26	4,1068	- 77,0386	81,1	3,5	5	97	0,022	0,007	0,001	0,002
72	2010-03-03	01:19	6,07	4,1466	- 76,5266	88,27	2,3	5	168	0,037	0,008	0,002	0,036
73	2010-04-07	22:13	8,55	4,3689	- 76,8061	45,48	2,0	4	193	0,000	0,001	0,004	0,003
74	2010-04-16	22:57	50,12	4,1686	- 76,5965	79,36	2,0	3	179	0,000	0,000	0,004	0,001
75	2010-04-24	03:10	4,52	4,3067	- 76,7702	47,57	2,9	4	184	0,001	0,003	0,005	0,001
76	2010-04-26	02:01	48,61	3,9387	- 76,6434	102,95	2,3	5	136	0,061	0,006	0,009	0,015

77	2010-05-20	19:54	26,51	4,8027	- 77,5015	47,9	2,7	3	193	0,000	0,002	0,004	0,002
78	2010-05-23	12:46	23,03	5,5012	- 77,9132	61,65	2,8	3	229	0,000	0,002	0,001	0,002
79	2010-05-24	03:40	52,61	5,3198	- 77,4072	33,4	3,7	5	182	0,064	0,004	0,003	0,013
80	2010-06-02	00:22	38,17	4,1114	- 76,5515	84,71	2,4	6	153	0,039	0,002	0,007	0,007
81	2010-06-18	19:49	47,72	5,1882	- 77,4422	22,29	2,1	6	206	0,041	0,003	0,001	0,000
82	2010-06-19	07:56	5,7	5,1451	- 77,6226	28,7	2,8	6	202	0,049	0,003	0,002	0,000
83	2010-06-25	02:13	50,82	5,9571	- 77,5375	49,74	2,4	6	249	0,047	0,007	0,005	0,002
84	2010-07-16	08:48	34,47	4,0446	- 76,5060	26,71	2,2	5	145	0,003	0,002	0,004	0,002
85	2010-08-01	13:06	48,61	5,2937	- 77,4716	62,54	2,7	6	223	0,034	0,001	0,010	0,018
86	2010-08-05	00:46	17,46	5,0533	- 76,8867	60,16	2,1	5	204	0,003	0,006	0,003	0,002
87	2010-08-10	05:29	58,98	4,2320	- 76,6637	46,08	2,2	5	159	0,069	0,001	0,005	0,004
88	2010-08-17	01:06	17,47	5,1874	- 76,5735	40,32	2,1	4	189	0,008	0,003	0,003	0,000
89	2010-08-26	16:10	50,89	4,1286	- 76,7362	44,72	2,0	5	171	0,021	0,004	0,004	0,003
90	2010-08-28	14:38	13,39	4,3440	- 76,6761	79,5	2,1	5	195	0,028	0,012	0,012	0,031
91	2010-09-18	11:46	35,36	4,6216	- 76,6415	14,02	2,0	5	215	0,018	0,003	0,005	0,003
92	2010-10-15	23:06	51,18	4,1739	- 76,6297	74,19	2,5	8	250	0,025	0,001	0,004	0,003
93	2010-10-20	20:28	16,24	5,8961	- 77,3817	30	2,5	4	173	0,093	0,006	0,004	0,000
94	2010-10-26	05:45	14,42	4,9388	- 76,4680	100,16	2,3	5	211	0,325	0,008	0,003	0,020
95	2010-11-03	04:23	42,4	4,7903	- 76,6620	57,25	2,2	5	203	0,014	0,001	0,007	0,010
96	2010-11-07	21:34	4,76	4,1492	- 76,5258	62,55	2,2	9	145	0,069	0,001	0,006	0,004
97	2010-11-17	16:43	41,31	5,7041	- 76,6029	49,7	2,2	5	169	0,034	0,006	0,003	0,000
98	2010-11-21	09:49	5,07	4,5677	- 76,5262	89,1	2,1	5	248	0,044	0,004	0,007	0,008
99	2010-11-24	10:37	48,11	4,0430	- 76,4349	53,55	2,5	7	154	0,035	0,003	0,007	0,000
100	2010-11-25	07:22	35,96	3,9666	- 77,0247	77,69	2,3	2	182	0,000	0,000	0,001	0,001
101	2010-12-08	08:05	31,47	3,9196	- 76,5275	53,7	1,9	4	143	0,000	0,002	0,005	0,002
102	2010-12-21	04:58	58,23	4,2845	- 76,5845	63,86	1,5	4	160	0,000	0,000	0,007	0,003
103	2011-01-07	23:01	18,21	4,6182	- 76,4669	2,26	1,9	3	184	0,000	0,002	0,006	0,000
104	2011-01-10	10:31	10,39	5,3441	- 77,3790	35,99	1,7	3	178	0,000	0,004	0,003	0,000
105	2011-01-16	12:17	43,22	5,0042	- 76,7084	16,78	2,0	5	119	0,030	0,005	0,001	0,010
106	2011-01-21	12:14	29,48	5,7108	- 76,5263	32,6	3,5	5	111	0,078	0,006	0,005	0,008
107	2011-01-27	07:06	3,92	4,0464	- 76,7070	26,55	1,8	5	160	0,008	0,002	0,002	0,001
108	2011-01-31	07:13	37,97	4,0971	- 76,6278	61,48	4,6	10	152	0,052	0,007	0,008	0,005
109	2011-02-01	21:40	8,86	4,2561	- 76,5948	30,09	2,4	6	159	0,052	0,001	0,004	0,001
110	2011-02-06	00:49	42,85	4,2739	- 76,6108	41,62	1,9	4	172	0,000	0,003	0,005	0,001
111	2011-02-06	23:20	10,32	4,1313	- 76,7139	25,16	2,0	5	160	0,001	0,001	0,003	0,002
112	2011-02-10	09:38	39,82	5,7178	- 76,5556	59,98	2,7	4	169	0,003	0,005	0,005	0,002
113	2011-02-11	02:14	52,24	4,3276	- 76,6324	46,27	2,7	5	179	0,035	0,003	0,005	0,003
114	2011-02-11	02:52	21,09	4,4122	- 76,7168	75,04	2,3	7	133	0,068	0,003	0,003	0,002
115	2011-02-11	03:19	46,32	4,3768	- 76,6756	58,53	2,7	7	173	0,038	0,002	0,008	0,007
116	2011-02-11	04:27	21,86	4,3998	- 76,6740	57,71	2,0	6	130	0,019	0,005	0,007	0,002
117	2011-02-11	19:22	51,92	4,2855	- 76,5559	22,52	2,1	5	160	0,058	0,002	0,003	0,003

118	2011-02-19	02:53	16,26	4,0871	- 76,4283	64,56	2,2	6	190	0,013	0,003	0,003	0,008
119	2011-02-21	11:31	23,6	4,5666	- 76,5911	66,61	4,4	5	184	0,069	0,003	0,004	0,003
120	2011-02-28	15:02	43,88	4,1472	- 76,4737	24,32	1,8	5	143	0,152	0,002	0,003	0,003
121	2011-03-12	09:53	48,96	4,1177	- 76,6151	47,25	2,7	4	156	0,000	0,000	0,006	0,003
122	2011-03-16	06:15	12,8	5,1913	- 77,4270	138,23	2,1	3	274	0,003	0,005	0,011	0,008
123	2011-03-28	10:54	46,46	4,1536	- 76,6647	6,73	1,8	4	172	0,000	0,002	0,006	0,001
124	2011-03-31	05:09	39,45	5,5509	- 76,8490	6,36	1,4	4	202	0,020	0,016	0,003	0,023
125	2011-04-01	03:25	45,74	3,9768	- 76,5363	58,81	2,3	5	156	0,018	0,003	0,007	0,001
126	2011-04-03	04:32	50,3	4,1146	- 76,6996	51,22	2,1	5	147	0,087	0,001	0,006	0,001
127	2011-04-05	09:02	51,78	4,0338	- 76,5057	125,09	2,1	5	190	0,001	0,001	0,004	0,000
128	2011-04-08	10:33	48,98	4,2326	- 76,6112	97,12	2,3	8	228	0,050	0,001	0,003	0,001
129	2011-04-19	21:13	44,13	4,0471	- 76,7098	45,61	1,7	3	161	0,000	0,002	0,003	0,000
130	2011-05-21	21:34	22,16	5,7370	- 78,1646	73,32	2,6	3	254	0,001	0,007	0,001	0,003
131	2011-06-03	00:56	17,67	4,2217	- 76,7202	42,51	2,3	3	189	0,000	0,000	0,003	0,000
132	2011-06-05	03:43	27,91	4,0944	- 76,5981	92,67	2,6	4	171	0,039	0,003	0,004	0,010
133	2011-06-21	16:55	38,74	5,3060	- 76,6777	8,51	2,1	4	202	0,011	0,002	0,004	0,000
134	2011-07-12	10:16	28,41	5,0649	- 76,5506	60,38	1,9	4	152	0,000	0,003	0,006	0,000
135	2011-07-24	19:47	39,26	5,2495	- 77,5960	37,45	2,4	5	199	0,012	0,002	0,016	0,054
136	2011-08-08	13:16	50,63	5,5859	- 77,5463	39,88	3,2	6	194	0,019	0,004	0,004	0,005
137	2011-08-11	02:40	33,86	5,1925	- 77,5174	39,08	2,2	4	191	0,017	0,003	0,006	0,002
138	2011-08-12	23:47	24,09	5,6670	- 77,3020	5,23	3,1	5	217	0,075	0,005	0,004	0,000
139	2011-08-13	14:10	20,14	5,6774	- 77,4050	15,73	4,0	6	179	0,069	0,005	0,004	0,001
140	2011-08-13	20:27	30,68	5,6860	- 77,4099	18,29	3,4	5	180	0,021	0,005	0,004	0,001
141	2011-08-13	20:30	49,85	5,6638	- 77,3741	11,4	4,1	5	176	0,068	0,005	0,004	0,001
142	2011-08-13	21:58	4,15	5,5991	- 77,5655	27,27	3,9	6	174	0,064	0,001	0,005	0,000
143	2011-08-22	21:43	39,59	4,2633	- 76,9525	46,99	1,6	4	191	0,000	0,002	0,004	0,003
144	2011-08-28	01:25	16,91	4,0215	- 76,4636	51,49	1,8	4	160	0,000	0,003	0,006	0,000
145	2011-09-13	04:38	44,05	5,5684	- 77,6164	32,93	4,2	7	178	0,078	0,044	0,016	0,354
146	2011-09-23	22:51	6,33	4,2252	- 76,6789	79,89	2,3	6	247	0,065	0,000	0,004	0,003
147	2011-10-14	06:23	43,31	4,0890	- 76,6368	30,02	2,0	6	201	0,100	0,002	0,003	0,000
148	2011-10-21	23:50	13,41	4,1639	- 76,6067	75,74	2,0	5	200	0,017	0,002	0,000	0,006
149	2011-11-05	09:55	52,7	4,5523	- 76,5329	5,61	2,2	3	247	0,000	0,001	0,003	0,001
150	2011-11-11	20:29	29,79	4,0893	- 76,5197	72,6	2,7	12	185	0,092	0,003	0,005	0,004
151	2011-12-02	21:13	40,97	3,9825	- 76,6798	97,3	1,8	3	206	0,001	0,002	0,004	0,002
152	2011-12-04	03:32	51,67	4,0708	- 76,4824	86,58	1,8	4	142	0,027	0,002	0,006	0,008
153	2011-12-10	17:34	27,91	5,7304	- 77,5461	32,32	2,3	6	194	0,019	0,004	0,004	0,003
154	2011-12-12	05:43	39,69	4,0810	- 76,4979	104,8	1,7	4	211	0,003	0,003	0,002	0,005
155	2011-12-13	15:19	5,53	5,8138	- 76,6365	6,76	2,7	4	180	0,037	0,002	0,003	0,000
156	2011-12-13	15:22	19,61	5,8482	- 76,6119	6,1	2,4	3	142	0,000	0,004	0,003	0,000
157	2011-12-18	13:35	55,15	5,4319	- 77,5008	42,68	2,6	8	249	0,086	0,005	0,002	0,004
158	2011-12-30	16:20	36,37	4,6389	- 76,6005	65,46	2,1	4	252	0,005	0,001	0,007	0,002



159	2012-01-01	04:47	17,26	5,6215	- 77,4302	6,71	2,2	6	182	0,014	0,000	0,005	0,004
160	2012-01-02	15:03	41,55	4,1885	- 76,7739	48,81	2,3	7	141	0,070	0,003	0,004	0,004
161	2012-01-05	03:31	42,44	5,2021	- 77,4640	48,05	3,1	6	223	0,019	0,003	0,003	0,004
162	2012-01-07	09:05	16,87	4,8560	- 77,5634	49,63	2,2	5	218	0,027	0,002	0,001	0,003
163	2012-01-08	09:03	9,89	4,1641	- 76,8618	37,16	2,7	6	226	0,030	0,002	0,002	0,000
164	2012-01-15	02:06	45,55	5,3267	- 77,6198	44,47	3,3	4	217	0,006	0,002	0,000	0,004
165	2012-01-17	08:01	43,47	4,9709	- 76,6590	54,96	3,5	6	193	0,036	0,004	0,002	0,000
166	2012-01-19	22:36	21,11	4,2172	- 76,5249	57,75	1,9	3	237	0,000	0,002	0,003	0,002
167	2012-01-23	15:06	3,41	4,7638	- 76,7519	43,66	2,8	8	221	0,092	0,000	0,002	0,004
168	2012-01-25	12:34	45,58	5,4417	- 77,5916	39,96	2,8	7	214	0,018	0,003	0,002	0,003
169	2012-01-25	14:36	56,33	5,4932	- 77,4968	55	4,4	3	206	0,000	0,000	0,000	0,000
170	2012-01-25	14:45	24,79	5,5755	- 77,4095	41,25	2,6	5	198	0,005	0,002	0,003	0,002
171	2012-01-25	23:48	51,16	5,4670	- 77,5227	29	2,9	5	223	0,075	0,003	0,002	0,000
172	2012-01-26	12:22	14,53	5,4619	- 77,5699	42,31	2,5	7	213	0,122	0,003	0,003	0,003
173	2012-01-26	21:17	0,66	5,5313	- 77,5382	37,72	2,1	5	209	0,056	0,005	0,011	0,072
174	2012-01-30	04:56	20,41	4,4117	- 76,7388	53,83	2,3	6	223	0,068	0,001	0,001	0,002
175	2012-01-31	10:53	33,26	4,4631	- 78,1701	42,89	2,0	3	258	0,002	0,001	0,006	0,002
176	2012-01-31	12:26	3,14	4,4038	- 76,7805	51	2,4	6	223	0,026	0,001	0,001	0,004
177	2012-01-31	16:53	59,74	4,2952	- 76,7769	60,46	2,4	5	224	0,030	0,000	0,006	0,002
178	2012-02-04	19:45	24,09	4,1089	- 76,5046	100,91	1,7	4	183	0,033	0,011	0,053	0,021
179	2012-02-04	21:04	23,54	4,4588	- 76,5622	74,82	1,7	5	207	0,041	0,001	0,003	0,000
180	2012-02-16	18:57	58,95	5,4783	- 77,3607	16,32	2,2	8	194	0,058	0,001	0,002	0,005
181	2012-02-17	02:50	19,92	4,2776	- 76,5183	104,44	2,4	8	191	0,038	0,001	0,004	0,001
182	2012-02-22	07:16	57,32	5,4357	- 77,6327	30,05	1,5	4	202	0,036	0,004	0,003	0,000
183	2012-02-24	12:16	29,25	4,1779	- 76,6401	22,51	2,2	5	175	0,061	0,002	0,003	0,002
184	2012-02-25	20:10	32,76	4,2392	- 76,6917	69,92	1,3	4	172	0,000	0,003	0,005	0,001
185	2012-02-25	22:42	47,36	4,4084	- 76,7109	42,84	1,7	4	162	0,000	0,000	0,004	0,002
186	2012-02-29	07:09	44,73	4,2310	- 76,6629	68,64	2,8	3	234	0,000	0,001	0,005	0,000
187	2012-03-02	15:02	37,67	4,1023	- 76,6921	55,89	2,1	5	167	0,022	0,002	0,005	0,001
188	2012-03-03	08:01	19,28	4,3464	- 76,6815	46,26	2,2	4	151	0,000	0,001	0,005	0,003
189	2012-03-04	19:35	26,42	4,2093	- 76,6192	11,22	2,5	6	178	0,028	0,001	0,006	0,003
190	2012-03-05	13:47	19,56	4,3486	- 76,6885	47,98	3,0	4	153	0,000	0,003	0,005	0,004
191	2012-03-06	00:46	3,35	4,5851	- 76,4314	66,62	1,7	4	146	0,000	0,001	0,007	0,003
192	2012-03-06	13:04	17,9	4,3364	- 76,6877	45,89	2,3	5	151	0,007	0,000	0,004	0,001
193	2012-03-06	22:16	28,18	4,1205	- 76,6667	69,62	1,8	5	158	0,029	0,003	0,004	0,000
194	2012-03-12	18:45	1,3	4,4501	- 76,5277	70,27	1,8	6	201	0,054	0,000	0,003	0,001
195	2012-03-13	19:06	46,92	4,1337	- 77,3422	34,78	2,2	5	241	0,070	0,004	0,003	0,006
196	2012-03-19	13:06	23,06	5,4473	- 77,4727	8,77	2,4	5	246	0,030	0,001	0,002	0,004
197	2012-03-20	12:56	44,79	4,3463	- 76,8486	47,73	3,0	8	238	0,044	0,003	0,004	0,005
198	2012-03-21	09:27	23,65	4,1584	- 76,6363	83,16	2,2	4	150	0,000	0,003	0,005	0,001
199	2012-03-21	21:57	19,97	4,4174	- 76,3513	50,65	2,2	5	189	0,070	0,001	0,034	0,036

200	2012-03-22	00:03	40,2	4,3271	- 76,4719	90,95	1,9	4	141	0,000	0,001	0,008	0,000
201	2012-03-26	13:28	25,86	5,8941	- 77,4095	32,29	2,1	2	224	0,000	0,003	0,001	0,000
202	2012-03-29	14:16	3,69	5,5528	- 77,4249	29,9	2,1	3	182	0,000	0,005	0,004	0,000
203	2012-04-01	19:09	32,69	4,3260	- 76,6802	68,38	2,4	4	149	0,000	0,001	0,004	0,002
204	2012-04-03	21:02	50,35	5,4824	- 77,4400	43,04	2,2	6	201	0,020	0,004	0,002	0,003
205	2012-04-04	18:56	18,59	4,1881	- 76,7212	52,55	1,9	5	136	0,020	0,005	0,004	0,003
206	2012-04-05	00:21	3,03	5,1386	- 77,4482	47,37	2,8	5	186	0,112	0,003	0,004	0,004
207	2012-04-07	05:57	43,64	4,0945	- 76,5042	72,71	1,8	5	110	0,050	0,000	0,006	0,002
208	2012-04-07	21:27	2,5	4,3257	- 76,7878	50,16	2,9	8	226	0,045	0,004	0,003	0,005
209	2012-04-08	00:03	23,05	4,2922	- 76,6984	50,55	2,3	6	167	0,048	0,003	0,003	0,004
210	2012-04-08	09:42	2,51	4,2474	- 76,6370	89,82	2,1	7	209	0,046	0,000	0,005	0,002
211	2012-04-13	04:50	42,59	5,1240	- 76,6113	80,96	2,2	4	279	0,004	0,004	0,010	0,005
212	2012-04-21	23:41	49,33	4,0901	- 77,1224	26,3	1,4	4	154	0,000	0,002	0,005	0,001
213	2012-04-23	03:39	55,44	5,4809	- 77,4540	10,83	2,5	6	185	0,044	0,003	0,003	0,003
214	2012-04-26	01:30	30,79	4,1680	- 76,5389	61,94	2,0	4	127	0,000	0,001	0,007	0,001
215	2012-04-30	03:48	30,17	4,5965	- 76,6932	29,47	1,3	4	185	0,000	0,001	0,005	0,000
216	2012-05-04	01:05	42,1	5,5253	- 77,5365	37,62	2,6	8	193	0,075	0,004	0,004	0,003
217	2012-05-04	01:42	18,92	5,5266	- 77,4148	31,5	1,8	3	181	0,000	0,005	0,004	0,000
218	2012-05-04	07:27	55,42	5,5437	- 77,5418	51,14	1,8	4	193	0,024	0,002	0,009	0,014
219	2012-05-05	18:55	28,53	5,5402	- 77,5516	42,89	2,5	6	195	0,007	0,005	0,006	0,003
220	2012-05-07	17:22	31,04	4,0734	- 76,5700	98,96	1,5	4	218	0,010	0,014	0,019	0,002
221	2012-05-07	21:45	9,73	4,0029	- 76,4689	69	1,8	5	130	0,003	0,004	0,005	0,001
222	2012-05-08	16:10	27,91	5,3632	- 76,6451	49,94	2,6	5	233	0,021	0,006	0,004	0,003
223	2012-05-11	00:57	34,41	4,1815	- 76,6041	59,82	2,0	4	131	0,000	0,002	0,006	0,001
224	2012-05-13	20:31	23,8	5,7105	- 77,4912	28,5	2,3	4	188	0,020	0,005	0,003	0,000
225	2012-05-17	17:02	47,58	4,1174	- 76,7274	70,15	2,5	4	218	0,000	0,001	0,002	0,001
226	2012-05-27	21:54	9,4	5,7874	- 76,5997	43,53	1,8	5	134	0,015	0,005	0,004	0,003
227	2012-06-03	07:57	28,86	4,1592	- 76,4980	130,45	2,0	3	184	0,000	0,003	0,005	0,002
228	2012-06-17	09:47	39,65	4,8450	- 76,4555	88,45	1,8	3	242	0,000	0,002	0,004	0,000
229	2012-06-17	17:25	50,59	5,8058	- 77,5963	42,68	2,8	7	228	0,075	0,003	0,003	0,004
230	2012-06-19	02:28	42,43	5,8031	- 77,4690	14,75	2,5	6	186	0,030	0,004	0,006	0,001
231	2012-06-22	01:52	50,37	5,7274	- 77,6391	34,61	3,9	3	206	0,000	0,005	0,004	0,000
232	2012-06-29	05:52	28,01	4,7002	- 76,6790	64,33	1,4	3	198	0,001	0,002	0,006	0,001
233	2012-06-29	23:01	11,55	4,1831	- 76,6765	5,74	2,0	4	132	0,065	0,000	0,007	0,000
234	2012-07-12	06:27	4,4	4,7401	- 76,7292	55,21	1,9	3	254	0,000	0,000	0,002	0,002
235	2012-07-13	14:43	2,31	5,0094	- 76,9384	87,41	1,9	4	257	0,041	0,024	0,001	0,042
236	2012-07-24	22:43	19,74	4,2057	- 76,9681	91,33	1,4	4	161	0,001	0,002	0,006	0,003
237	2012-07-26	15:22	33,19	4,2510	- 76,7499	93,89	2,2	6	245	0,025	0,001	0,003	0,001
238	2012-07-27	03:16	44,4	4,0700	- 76,7170	51,65	2,3	4	145	0,000	0,003	0,004	0,002
239	2012-07-27	05:37	7,82	4,0816	- 76,5415	69,41	2,3	4	111	0,000	0,001	0,005	0,000
240	2012-07-29	05:42	46,87	4,2998	- 76,6476	72,18	1,9	4	255	0,018	0,003	0,031	0,026

241	2012-08-01	07:19	17,75	4,5534	- 76,4769	81,34	2,5	7	222	0,063	0,000	0,002	0,000
242	2012-08-05	02:14	48,29	4,8514	- 76,5794	71,88	1,9	3	173	0,001	0,001	0,007	0,001
243	2012-08-13	19:29	26,78	4,0195	- 76,7617	26,71	2,1	4	184	0,000	0,002	0,002	0,001
244	2012-08-25	06:22	9,83	4,4710	- 76,7010	26,97	2,1	6	169	0,017	0,001	0,004	0,001
245	2012-08-26	07:55	30,02	4,2982	- 76,6981	10,58	1,5	4	147	0,000	0,000	0,003	0,003
246	2012-08-27	05:01	45,77	4,4306	- 77,1618	54,81	2,3	4	218	0,001	0,003	0,003	0,006
247	2012-08-27	07:00	4,94	4,4496	- 76,5631	26,86	2,0	5	150	0,022	0,001	0,004	0,001
248	2012-08-31	11:12	23,12	4,5807	- 76,6711	27,97	2,0	5	180	0,016	0,002	0,005	0,002
249	2012-09-03	01:27	54,49	3,9424	- 76,8960	24,27	1,8	4	165	0,000	0,001	0,003	0,001
250	2012-09-05	05:20	56,08	5,0635	- 76,5658	87,97	2,0	5	218	0,068	0,000	0,006	0,001
251	2012-09-21	00:13	56	5,5812	- 76,7011	30,07	2,0	7	255	0,039	0,003	0,001	0,000
252	2012-09-22	03:06	35,07	5,3707	- 77,4762	13,29	3,0	7	187	0,091	0,007	0,001	0,007
253	2012-09-22	12:08	22,52	4,4039	- 76,7082	52,48	2,8	6	161	0,112	0,001	0,006	0,002
254	2012-09-22	19:52	34,22	4,6202	- 76,6798	26,71	1,7	4	186	0,000	0,003	0,005	0,001
255	2012-09-23	18:04	0,48	5,8717	- 77,5101	6,58	2,5	5	218	0,011	0,001	0,006	0,006
256	2012-09-26	01:16	4,99	5,7895	- 76,8938	35,31	3,4	6	171	0,030	0,006	0,004	0,005
257	2012-10-13	19:46	29,89	4,2238	- 76,5155	96,23	1,9	4	163	0,001	0,004	0,007	0,000
258	2012-10-17	01:42	36,41	4,0962	- 76,7617	78,22	1,3	4	138	0,000	0,002	0,005	0,001
259	2012-10-20	21:13	20,86	5,3372	- 77,4342	46,08	3,9	6	221	0,078	0,005	0,003	0,003
260	2012-10-21	19:50	26,16	4,4828	- 76,5352	71,94	2,0	5	150	0,004	0,002	0,007	0,006
261	2012-10-23	00:32	21,7	4,9264	- 76,5372	73,47	2,3	5	267	0,007	0,002	0,008	0,004
262	2012-10-26	05:32	28,28	5,4863	- 76,5347	51,54	2,0	6	199	0,048	0,002	0,004	0,001
263	2012-10-29	00:22	12,7	4,3689	- 76,7866	24,69	2,1	4	165	0,000	0,000	0,002	0,001
264	2012-11-09	00:21	43,72	4,0234	- 76,8915	65,14	1,4	4	185	0,000	0,003	0,004	0,000
265	2012-11-10	00:26	32,89	4,1386	- 76,8128	74,71	1,4	3	211	0,000	0,001	0,004	0,001
266	2012-11-14	01:52	11,61	4,2325	- 77,0572	30,72	1,7	4	177	0,005	0,001	0,000	0,013
267	2012-11-25	01:04	23,82	4,6613	- 76,5326	28,91	1,6	5	173	0,094	0,002	0,006	0,000
268	2012-11-25	23:22	2,41	4,7263	- 76,4311	67,3	2,3	6	167	0,092	0,000	0,005	0,001
269	2012-11-28	01:46	35,81	4,0149	- 76,4841	55,52	2,3	8	153	0,068	0,005	0,005	0,001
270	2012-12-12	01:31	27,42	4,0949	- 76,6287	61,31	1,8	4	119	0,000	0,001	0,004	0,000
271	2012-12-12	20:31	38,13	4,0846	- 76,6317	63,42	2,2	5	118	0,004	0,000	0,004	0,001
272	2012-12-18	13:13	55,93	4,3569	- 76,5428	89,58	2,3	6	138	0,111	0,001	0,007	0,002
273	2012-12-20	17:11	11,98	5,1544	- 76,9027	46,45	2,3	4	210	0,000	0,001	0,006	0,004
274	2012-12-21	03:26	12,45	4,1589	- 76,8438	23,22	1,8	4	145	0,000	0,001	0,003	0,001
275	2012-12-23	03:25	1,68	5,9228	- 77,6484	35,98	2,4	5	207	0,003	0,006	0,001	0,001
276	2012-12-23	12:43	56,47	5,5933	- 77,4187	39,52	2,2	4	299	0,119	0,064	0,047	0,016
277	2012-12-31	11:13	59,7	4,1276	- 76,8736	16,41	2,5	4	152	0,000	0,003	0,003	0,001
278	2013-01-03	10:09	39,1	4,2125	- 76,5218	100,2	1,2	3	123	0,001	0,002	0,007	0,002
279	2013-01-20	10:38	33,65	4,4735	- 76,6668	4,05	1,5	4	165	0,058	0,001	0,008	0,000
280	2013-01-21	20:04	20,66	4,2272	- 76,9439	37,02	2,3	6	234	0,045	0,003	0,004	0,016
281	2013-01-22	12:11	44,1	5,1228	- 76,4880	75,15	1,5	3	228	0,000	0,002	0,003	0,000

282	2013-01-30	14:10	46,66	4,6632	- 78,1178	103,15	3,5	4	313	0,082	0,013	0,055	0,031
283	2013-02-03	06:49	39,18	5,9458	- 76,8971	59,85	2,9	3	129	0,001	0,010	0,005	0,004
284	2013-02-06	14:31	31,61	4,2886	- 76,4725	89,03	2,7	3	170	0,001	0,000	0,007	0,001
285	2013-02-12	08:08	49,13	5,3180	- 76,5465	87,18	2,9	5	149	0,092	0,002	0,004	0,001
286	2013-02-14	23:06	43,94	5,0937	- 76,6446	84,78	2,6	4	239	0,000	0,001	0,004	0,000
287	2013-02-23	14:03	27,85	4,4262	- 76,6631	20,79	1,3	3	254	0,000	0,000	0,001	0,002
288	2013-02-24	02:46	35,18	4,6754	- 76,5863	26,8	2,6	5	183	0,105	0,004	0,006	0,001
289	2013-02-26	04:18	8,06	4,4337	- 76,6595	53,6	2,1	4	191	0,000	0,000	0,006	0,000
290	2013-03-01	10:04	58	5,0208	- 77,0400	83,55	2,6	3	261	0,001	0,001	0,006	0,003
291	2013-03-03	00:37	35,32	3,9822	- 76,7493	62,85	2,1	2	214	0,000	0,002	0,005	0,000
292	2013-03-05	05:14	39,17	5,5686	- 76,7821	45,96	2,1	5	221	0,023	0,004	0,007	0,000
293	2013-03-08	23:11	10,99	3,9891	- 76,4891	65,95	2,2	5	157	0,019	0,005	0,001	0,041
294	2013-03-14	17:55	9,44	4,0688	- 76,5051	97,97	1,4	4	196	0,001	0,004	0,005	0,005
295	2013-03-21	11:48	40,32	5,8820	- 77,5493	41,18	2,8	4	257	0,057	0,043	0,043	0,122
296	2013-03-25	11:17	36,8	5,9618	- 77,7227	55,21	2,8	3	225	0,000	0,005	0,003	0,001
297	2013-04-08	00:51	43,08	4,6258	- 76,5858	11,09	1,7	3	247	0,000	0,000	0,003	0,001
298	2013-04-09	01:10	6,97	4,4154	- 76,7498	37,24	2,5	4	167	0,000	0,001	0,004	0,000
299	2013-04-17	03:05	36,61	5,8133	- 77,8127	59,1	2,7	4	227	0,048	0,003	0,008	0,009
300	2013-04-17	03:07	1,59	5,8454	- 77,7204	51,04	3,0	6	189	0,065	0,006	0,004	0,004
301	2013-05-04	03:17	25,69	5,6696	- 77,2958	42,93	2,2	4	197	0,000	0,002	0,002	0,000
302	2013-05-07	15:47	6,49	5,6016	- 77,4826	59,55	2,5	4	241	0,004	0,003	0,005	0,006
303	2013-05-08	04:35	58,52	5,7555	- 77,1191	3,48	3,1	3	163	0,001	0,005	0,009	0,001
304	2013-05-08	20:57	29,5	5,7517	- 77,1516	63,25	3,3	5	180	0,065	0,003	0,001	0,004
305	2013-05-08	21:55	34,95	3,9590	- 76,4585	75,37	2,4	4	112	0,000	0,002	0,006	0,001
306	2013-05-09	01:55	9,36	4,0302	- 76,9177	56,87	2,3	4	128	0,000	0,003	0,004	0,002
307	2013-05-10	11:22	54,14	5,6778	- 77,1882	4,13	2,4	4	186	0,035	0,003	0,003	0,012
308	2013-05-12	16:51	56,89	4,0232	- 76,9491	49,45	2,6	3	223	0,000	0,006	0,000	0,002
309	2013-05-12	17:58	43,91	5,7164	- 77,2753	32,87	3,5	4	194	0,002	0,008	0,008	0,004
310	2013-05-12	18:33	24,09	5,7231	- 77,2742	49,52	2,7	4	194	0,000	0,003	0,002	0,002
311	2013-05-13	01:00	47,46	5,7166	- 77,2891	48,49	2,1	5	195	0,001	0,003	0,003	0,001
312	2013-05-13	05:15	1,07	5,9045	- 77,5365	54,91	1,8	3	221	0,001	0,002	0,004	0,000
313	2013-05-14	01:38	59,66	5,5248	- 76,7010	61,5	1,6	4	153	0,001	0,003	0,003	0,003
314	2013-05-15	09:37	48,06	5,6977	- 76,9771	12,54	2,0	3	187	0,000	0,001	0,001	0,001
315	2013-05-18	00:55	39,53	4,1856	- 76,7319	44,93	1,4	3	209	0,000	0,000	0,005	0,003
316	2013-05-22	05:54	15,2	5,7035	- 77,1787	15,91	1,5	4	207	0,001	0,004	0,003	0,001
317	2013-05-22	06:01	53,38	5,7083	- 77,3079	41,6	1,8	6	198	0,053	0,003	0,002	0,000
318	2013-05-23	17:15	40,11	5,6259	- 76,6587	61,84	1,9	5	218	0,003	0,001	0,004	0,003
319	2013-05-23	20:52	21,79	5,4957	- 76,5756	71,25	2,2	7	144	0,095	0,001	0,003	0,003
320	2013-05-26	06:41	13,23	5,6745	- 77,3019	42,59	2,4	4	198	0,002	0,004	0,003	0,006
321	2013-05-26	07:52	21,21	5,6856	- 77,3088	46,67	2,4	5	198	0,108	0,004	0,004	0,001
322	2013-05-26	08:16	59,74	5,6964	- 77,2506	29,22	3,0	4	191	0,010	0,005	0,003	0,013

323	2013-05-27	06:50	29,37	4,7624	- 76,7557	51,7	1,8	4	213	0 ,000	0,001	0,006	0,002
324	2013-05-27	17:42	11,43	4,0721	- 76,7207	59,95	1,6	4	153	0 ,000	0,003	0,005	0,002
325	2013-05-31	12:57	34,81	4,2108	- 76,9587	45,82	2,3	4	161	0 ,000	0,002	0,004	0,001
326	2013-06-02	03:14	0,1	4,0357	- 76,9165	54,72	2,5	4	128	0 ,000	0,003	0,003	0,002
327	2013-06-04	09:37	56,57	5,4857	- 77,5457	8,97	2,6	4	194	0 ,000	0,001	0,003	0,003
328	2013-06-04	23:40	25,72	5,5480	- 77,5149	61,02	2,2	4	191	0 ,000	0,003	0,001	0,003
329	2013-06-05	15:45	27,47	4,2322	- 76,7770	48,8	2,0	5	165	0 ,015	0,002	0,004	0,004
330	2013-06-06	02:46	55,41	5,4781	- 77,4997	12,5	3,0	5	189	0 ,003	0,002	0,005	0,005
331	2013-06-06	04:47	46,74	5,7218	- 77,1379	3,88	2,9	3	201	0 ,000	0,000	0,003	0,001
332	2013-06-06	20:13	22,11	5,5470	- 77,4872	49,43	2,5	5	245	0 ,062	0,030	0,041	0,167
333	2013-06-07	08:30	45,11	5,6640	- 77,2117	32,81	2,7	4	212	0 ,020	0,004	0,002	0,002
334	2013-06-08	02:42	5,2	5,4648	- 77,4551	8,19	2,8	2	264	0 ,000	0,001	0,001	0,000
335	2013-06-15	15:11	39,65	5,4332	- 77,6065	37,97	2,7	4	231	0 ,000	0,004	0,002	0,002
336	2013-06-16	09:04	6,82	5,1735	- 77,3036	6,31	2,2	3	171	0 ,001	0,002	0,007	0,000
337	2013-06-19	12:34	17,59	5,5128	- 77,5469	26,02	2,6	5	194	0 ,034	0,005	0,003	0,000
338	2013-06-20	00:44	41,81	4,3346	- 77,0567	15,65	1,5	4	191	0 ,000	0,001	0,005	0,001
339	2013-06-20	05:18	26,3	5,9101	- 76,9192	23,73	1,6	5	148	0 ,030	0,003	0,016	0,039
340	2013-06-20	10:49	29,45	5,2970	- 77,6452	63,94	2,6	3	203	0 ,000	0,003	0,002	0,000
341	2013-06-21	00:42	4,52	4,3435	- 76,8306	23,94	2,0	5	167	0 ,028	0,000	0,003	0,000
342	2013-06-21	06:37	1,58	4,3080	- 76,8313	46,87	2,0	5	162	0 ,053	0,001	0,004	0,002
343	2013-06-26	06:34	57,99	5,5350	- 77,5313	49,97	1,4	4	193	0 ,003	0,002	0,006	0,003
344	2013-06-28	06:21	1,74	5,3636	- 77,4696	42,24	2,2	5	186	0 ,017	0,003	0,004	0,003
345	2013-06-29	10:46	43,82	4,3881	- 76,5871	28,31	1,6	5	146	0 ,092	0,000	0,004	0,002
346	2013-06-30	07:55	56,58	5,0588	- 78,1609	30	2,4	3	247	0 ,000	0,003	0,001	0,000
347	2013-07-04	12:34	45,04	5,8076	- 77,3913	10,04	2,3	4	176	0 ,005	0,000	0,020	0,023
348	2013-07-05	14:46	45,99	5,5413	- 77,5877	15,9	1,9	4	198	0 ,001	0,004	0,006	0,003
349	2013-07-06	09:48	26,44	4,5251	- 76,4933	40,57	1,5	5	150	0 ,080	0,001	0,006	0,003
350	2013-07-09	19:26	20,68	4,1975	- 76,6268	81,34	2,1	4	205	0 ,000	0,002	0,005	0,003
351	2013-07-11	13:05	5,49	4,0094	- 76,7562	50,35	2,4	4	182	0 ,000	0,004	0,004	0,002
352	2013-07-14	17:26	3,72	4,3538	- 76,8269	25,32	1,7	5	182	0 ,008	0,002	0,003	0,000
353	2013-07-15	08:46	56,34	4,2040	- 76,7524	47,64	2,6	7	138	0 ,052	0,001	0,003	0,003
354	2013-07-15	20:49	37,82	4,5356	- 76,6808	59,86	1,9	3	175	0 ,000	0,001	0,005	0,002
355	2013-07-20	17:19	0,71	4,0236	- 76,5802	102,09	2,4	7	144	0 ,061	0,002	0,005	0,002
356	2013-07-24	03:20	5,57	4,2972	- 76,5779	45,88	1,1	4	135	0 ,000	0,001	0,005	0,001
357	2013-07-27	21:06	23,5	4,6971	- 76,7696	58,79	1,8	4	206	0 ,000	0,000	0,006	0,002
358	2013-07-31	13:58	33,88	4,6048	- 76,7658	40,75	2,8	5	193	0 ,071	0,001	0,005	0,000
359	2013-08-01	06:58	58,96	4,9524	- 76,6007	45,39	1,4	4	272	0 ,001	0,000	0,003	0,002
360	2013-08-04	01:00	11,59	4,3032	- 76,4785	65,01	2,1	5	221	0 ,081	0,001	0,073	0,231
361	2013-08-07	00:59	8,48	4,1095	- 76,8528	27,61	2,0	6	156	0 ,088	0,002	0,002	0,000
362	2013-08-07	07:25	28,97	4,3444	- 76,8309	25,04	1,7	5	167	0 ,022	0,001	0,003	0,000
363	2013-08-08	23:24	28,12	4,4218	- 76,6347	62,76	2,0	6	156	0 ,050	0,000	0,005	0,001

364	2013-08-09	17:30	9,2	5,5615	- 77,5061	36,24	2,9	5	190	0,013	0,004	0,003	0,000
365	2013-08-13	07:49	42,44	4,6051	- 76,9191	79,89	2,1	5	179	0,021	0,001	0,005	0,000
366	2013-08-17	15:14	32,17	4,4834	- 76,6978	45,33	2,4	6	159	0,068	0,000	0,004	0,004
367	2013-08-17	15:22	24,8	4,5099	- 76,6881	27,39	1,7	2	273	0,000	0,001	0,004	0,002
368	2013-08-18	07:25	9,52	4,4920	- 76,6613	28,99	1,1	2	237	0,000	0,001	0,000	0,000
369	2013-08-18	17:14	13,18	5,6164	- 77,9625	50,37	2,8	5	235	0,077	0,006	0,003	0,003
370	2013-08-18	18:50	47,29	4,2875	- 76,7246	29,37	1,2	4	149	0,000	0,001	0,003	0,001
371	2013-08-18	19:18	18,4	4,1730	- 76,4878	102,75	2,0	6	118	0,045	0,002	0,006	0,005
372	2013-08-18	19:45	26,01	4,4611	- 76,6939	52,75	2,2	5	149	0,051	0,002	0,005	0,004
373	2013-08-18	21:25	2,34	4,4922	- 76,7261	56,42	1,9	5	155	0,010	0,000	0,005	0,003
374	2013-08-18	22:22	0,32	4,4417	- 76,7053	28,4	2,1	6	166	0,057	0,000	0,004	0,002
375	2013-08-18	23:27	52,46	4,5156	- 76,7621	51,65	2,2	7	160	0,105	0,000	0,005	0,004
376	2013-08-20	00:19	15,75	4,2013	- 76,7501	90,27	2,1	5	200	0,071	0,001	0,004	0,001
377	2013-08-20	04:07	54,08	5,7021	- 78,0506	6,92	2,4	2	212	0,000	0,010	0,001	0,003
378	2013-08-21	07:22	1,54	4,5065	- 76,9235	5,76	1,7	4	173	0,004	0,001	0,005	0,005
379	2013-08-24	18:40	6,08	4,5069	- 76,7452	50,03	2,5	7	157	0,038	0,000	0,005	0,004
380	2013-08-25	21:32	8,1	4,4239	- 76,6025	63,95	2,8	7	152	0,068	0,001	0,005	0,002
381	2013-08-26	03:02	12,11	4,0561	- 77,3357	36,66	1,8	4	232	0,000	0,003	0,003	0,002
382	2013-08-27	15:50	14,28	5,6717	- 77,9077	47,45	3,1	5	232	0,045	0,001	0,015	0,010
383	2013-09-01	23:12	25,18	4,9428	- 76,5372	65,84	2,1	5	244	0,023	0,002	0,008	0,004
384	2013-09-07	01:28	4,24	5,1427	- 78,3183	6,64	2,7	3	236	0,001	0,001	0,003	0,003
385	2013-09-11	12:54	41,82	4,7338	- 78,1464	128,57	3,0	3	298	0,002	0,002	0,003	0,010
386	2013-09-13	03:56	31,03	4,7785	- 76,8467	59,96	2,3	6	222	0,042	0,004	0,004	0,008
387	2013-09-14	01:25	26,32	5,4508	- 78,2137	6,68	2,4	4	225	0,034	0,006	0,000	0,000
388	2013-09-17	01:40	0,42	4,3950	- 76,9068	45,4	1,4	5	181	0,085	0,022	0,076	0,252
389	2013-09-20	09:55	7,73	4,5204	- 76,5231	85,09	1,9	6	219	0,049	0,000	0,003	0,001
390	2013-09-25	04:05	9,96	4,2407	- 76,5255	83,6	1,5	5	125	0,042	0,001	0,005	0,003
391	2013-09-28	23:58	7,46	4,2240	- 76,7402	25,71	1,6	4	142	0,000	0,002	0,002	0,001
392	2013-09-29	03:16	10,9	5,7972	- 77,7862	58	2,0	4	248	0,000	0,007	0,003	0,003
393	2013-09-29	07:27	59,75	5,8303	- 77,7165	70,46	2,2	3	242	0,001	0,009	0,002	0,002
394	2013-09-30	04:47	36,28	4,1117	- 76,8664	24,05	2,0	5	156	0,013	0,002	0,003	0,001
395	2013-10-13	05:02	57,25	4,1681	- 76,8497	43,04	1,7	4	224	0,001	0,003	0,001	0,002
396	2013-10-16	13:22	21,41	3,9807	- 76,6272	52,74	2,0	5	209	0,092	0,000	0,002	0,003
397	2013-10-18	15:00	56,9	4,6480	- 76,5089	79,82	2,3	4	216	0,000	0,001	0,003	0,001
398	2013-10-23	05:47	8,24	3,9963	- 76,8532	47,59	1,3	5	212	0,045	0,003	0,002	0,003
399	2013-11-04	15:30	1,19	4,8413	- 76,7641	65,81	2,6	4	243	0,047	0,004	0,003	0,009
400	2013-11-05	07:42	5,05	4,4606	- 76,4441	89,07	1,2	4	209	0,003	0,000	0,006	0,008
401	2013-11-05	09:09	35,62	4,4127	- 77,6451	41,08	2,4	7	229	0,068	0,000	0,001	0,004
402	2013-11-11	08:24	51,57	5,0134	- 76,4746	90,21	3,2	5	195	0,019	0,001	0,003	0,001
403	2013-11-11	17:44	29,55	4,6008	- 76,6705	63,31	2,6	6	189	0,057	0,000	0,005	0,004
404	2013-11-14	04:32	26,9	4,3427	- 76,7707	64,82	2,6	7	159	0,037	0,019	0,001	0,144

405	2013-11-16	00:13	15	4,1908	- 76,6032	51,3	1,8	4	129	0,000	0,001	0,005	0,001
406	2013-11-23	19:47	16,71	4,2685	- 76,8808	50,54	2,1	5	162	0,117	0,000	0,004	0,003
407	2013-11-25	12:21	9,87	4,5798	- 76,4804	43,68	1,9	4	154	0,000	0,001	0,006	0,002
408	2013-12-04	15:50	58,32	5,7944	- 77,4830	0,05	2,2	5	231	0,073	0,004	0,007	0,054
409	2013-12-04	17:03	6,79	5,7671	- 77,4203	11,69	2,6	6	168	0,076	0,007	0,006	0,003
410	2013-12-08	04:54	54,39	4,4056	- 76,7673	64,52	1,9	8	218	0,072	0,001	0,007	0,005
411	2013-12-13	16:02	20,56	5,3169	- 76,6675	55,66	2,6	8	202	0,046	0,002	0,005	0,003
412	2013-12-16	06:38	37,33	5,1328	- 77,2860	80,45	1,6	4	237	0,003	0,001	0,004	0,011
413	2013-12-17	10:26	36,37	5,2450	- 77,9325	43,63	3,0	4	250	0,000	0,007	0,001	0,004
414	2013-12-18	08:58	4,24	5,7339	- 77,4491	6,31	1,8	5	235	0,012	0,001	0,006	0,005
415	2013-12-21	04:42	9,44	5,8188	- 77,5811	50,5	2,1	4	247	0,002	0,005	0,008	0,001
416	2013-12-23	04:24	31,74	4,2287	- 76,4796	49,52	1,7	4	120	0,000	0,000	0,005	0,002
417	2013-12-23	16:26	5,09	4,5714	- 76,6425	51,49	1,6	4	191	0,000	0,001	0,006	0,000
418	2013-12-24	16:40	40,19	5,8487	- 77,5766	64,24	2,3	3	246	0,001	0,006	0,002	0,000
419	2013-12-25	11:15	45,65	5,7327	- 77,5330	22,77	2,1	7	205	0,020	0,005	0,001	0,001
420	2013-12-25	22:11	39,35	5,7469	- 77,5461	26,1	2,8	5	223	0,001	0,005	0,002	0,000
421	2013-12-25	22:23	50,31	5,7863	- 77,6402	41,89	2,6	4	276	0,006	0,010	0,005	0,008
422	2013-12-25	22:25	23,58	5,9012	- 77,5291	54,58	2,9	5	174	0,047	0,005	0,004	0,003
423	2013-12-25	23:30	12,07	5,7197	- 77,0894	17,43	2,3	5	175	0,073	0,003	0,005	0,005
424	2013-12-26	00:55	24,43	5,9055	- 77,5419	59,39	3,3	5	175	0,060	0,006	0,000	0,001
425	2013-12-26	04:04	28,55	5,7490	- 77,4282	6,01	2,2	4	219	0,073	0,001	0,002	0,000
426	2013-12-26	04:34	37,27	5,6287	- 78,0232	60,58	2,5	6	241	0,051	0,007	0,019	0,052
427	2013-12-26	12:27	24,48	5,7412	- 77,6986	45,1	3,4	6	236	0,074	0,003	0,002	0,004
428	2013-12-26	13:54	17,84	5,8103	- 77,3858	11,66	2,0	5	224	0,058	0,003	0,008	0,003
429	2013-12-26	15:28	7,87	5,7739	- 77,4078	1,47	1,9	6	217	0,067	0,003	0,001	0,022
430	2013-12-26	19:08	19,42	5,7695	- 77,4544	17,12	2,6	5	184	0,036	0,005	0,005	0,000
431	2013-12-27	18:41	27,46	5,8218	- 77,5231	43,36	2,5	4	192	0,000	0,005	0,004	0,003
432	2013-12-27	21:19	9,8	5,7491	- 77,4342	10,99	2,4	6	170	0,073	0,038	0,022	0,121
433	2013-12-30	08:26	40,42	5,8347	- 77,3139	0,1	2,2	4	214	0,101	0,001	0,000	0,012
434	2013-12-30	23:19	51	5,7517	- 77,4318	11,31	2,3	4	210	0,000	0,008	0,006	0,003
435	2013-12-31	08:12	35,37	5,6653	- 76,8832	2,76	1,6	4	205	0,025	0,008	0,008	0,042
436	2014-01-01	03:57	56,46	5,7290	- 77,4812	11,11	1,7	4	238	0,016	0,005	0,005	0,015
437	2014-01-03	09:16	21,51	5,6644	- 76,9054	7,42	1,4	3	217	0,001	0,004	0,005	0,004
438	2014-01-04	03:03	47,56	4,5103	- 76,6355	46,87	2,5	6	219	0,048	0,004	0,004	0,004
439	2014-01-05	03:51	24,62	4,5754	- 76,6372	26,15	1,8	5	175	0,040	0,002	0,004	0,002
440	2014-01-05	04:12	58,63	4,5579	- 76,6352	24,09	1,3	4	172	0,000	0,002	0,001	0,001
441	2014-01-05	04:27	27,59	4,5624	- 76,5582	24,6	1,6	5	163	0,039	0,002	0,005	0,001
442	2014-01-05	04:35	3,17	4,5521	- 76,6012	27,36	2,2	5	168	0,007	0,002	0,005	0,002
443	2014-01-05	04:41	35,32	4,5635	- 76,5748	28,27	1,1	4	165	0,000	0,002	0,006	0,001
444	2014-01-05	04:53	16,27	4,5829	- 76,5758	36,15	1,0	4	168	0,000	0,001	0,005	0,001
445	2014-01-05	04:59	24,8	4,5697	- 76,6321	25,5	1,4	5	174	0,010	0,002	0,004	0,001

446	2014-01-05	05:23	27,06	4,5851	- 76,6543	25,4	2,3	6	178	0,118	0,002	0,004	0,002
447	2014-01-05	05:34	14,27	4,6625	- 76,5021	30,88	1,7	3	169	0,000	0,002	0,006	0,000
448	2014-01-05	05:50	54,5	4,5715	- 76,5907	39,06	1,5	3	168	0,000	0,001	0,005	0,001
449	2014-01-05	08:19	13,37	4,5796	- 76,5929	28,73	1,5	5	170	0,007	0,001	0,005	0,000
450	2014-01-05	09:09	9,64	4,7138	- 76,6955	55,73	1,4	3	308	0,000	0,001	0,002	0,003
451	2014-01-05	10:19	25,08	4,7348	- 76,7058	53,38	3,1	8	114	0,058	0,001	0,006	0,000
452	2014-01-05	11:53	37,78	4,5585	- 76,6354	28,68	2,3	6	172	0,047	0,000	0,005	0,000
453	2014-01-05	12:09	42,88	4,5683	- 76,5624	27,24	1,7	5	164	0,061	0,002	0,005	0,001
454	2014-01-05	13:26	56,3	4,5756	- 76,6347	24,78	2,0	6	174	0,063	0,001	0,004	0,000
455	2014-01-05	13:56	24,39	4,5830	- 76,5914	49,09	2,7	5	159	0,041	0,001	0,005	0,006
456	2014-01-05	15:22	14,45	4,5503	- 76,5279	27,11	1,8	4	157	0,000	0,002	0,006	0,001
457	2014-01-05	16:47	24,87	4,5658	- 76,5526	28,12	1,8	4	163	0,000	0,002	0,005	0,001
458	2014-01-06	01:32	0,12	4,5820	- 76,5870	37,15	1,8	5	170	0,039	0,001	0,005	0,000
459	2014-01-06	03:41	9,8	4,5703	- 76,5940	43,92	2,0	5	168	0,018	0,003	0,005	0,003
460	2014-01-06	07:19	27,36	5,7448	- 77,6478	39,49	2,2	5	233	0,012	0,004	0,003	0,002
461	2014-01-06	22:34	21,05	5,4382	- 76,6280	77,85	2,1	6	206	0,131	0,003	0,004	0,001
462	2014-01-07	03:52	14,55	5,8648	- 77,6120	50,96	3,2	6	207	0,100	0,003	0,002	0,003
463	2014-01-07	13:05	30,94	4,5609	- 76,5867	26,87	1,4	5	244	0,077	0,001	0,001	0,001
464	2014-01-08	02:23	24,3	4,6244	- 76,6176	48,84	2,6	5	163	0,060	0,000	0,005	0,004
465	2014-01-08	03:27	12,58	4,5777	- 76,6155	28,75	1,6	5	172	0,024	0,001	0,005	0,000
466	2014-01-08	15:51	3,5	4,5750	- 76,6522	27,56	2,3	7	230	0,082	0,002	0,004	0,002
467	2014-01-08	17:54	41,99	4,5759	- 76,5909	28,49	1,7	5	169	0,028	0,002	0,005	0,001
468	2014-01-09	10:19	52,47	4,5664	- 76,6578	24,97	2,1	7	162	0,068	0,001	0,004	0,001
469	2014-01-09	19:53	22,79	4,5570	- 76,5926	29,13	1,6	5	167	0,020	0,001	0,005	0,000
470	2014-01-09	21:32	24,64	4,5976	- 76,6510	31,87	1,9	7	180	0,046	0,002	0,005	0,048
471	2014-01-09	23:07	3,26	3,9861	- 76,9140	50,39	1,9	4	184	0,030	0,041	0,008	0,023
472	2014-01-10	06:22	44,21	5,0160	- 76,6687	56,36	1,4	5	183	0,032	0,003	0,004	0,001
473	2014-01-10	21:47	32,75	4,4403	- 76,6751	28,47	2,1	5	162	0,031	0,000	0,003	0,002
474	2014-01-11	02:31	31,06	4,5674	- 76,6142	28,97	1,6	6	159	0,003	0,000	0,005	0,000
475	2014-01-11	05:01	56,91	5,8065	- 77,5555	45,24	2,1	4	204	0,000	0,004	0,002	0,003
476	2014-01-11	08:05	32,5	5,3680	- 76,6682	17,54	2,0	6	156	0,103	0,003	0,004	0,000
477	2014-01-12	09:15	32,88	4,7355	- 76,6893	44,13	1,1	4	169	0,000	0,001	0,004	0,002
478	2014-01-12	11:42	28,52	4,5945	- 76,5909	40,72	1,3	4	171	0,000	0,001	0,005	0,001
479	2014-01-12	21:22	56,12	4,5706	- 76,5918	23,78	1,5	5	168	0,079	0,001	0,004	0,000
480	2014-01-13	02:14	45,43	5,8146	- 77,4389	16,87	2,0	7	196	0,037	0,005	0,003	0,002
481	2014-01-13	05:28	46,8	5,8606	- 77,5177	24,32	2,6	7	192	0,090	0,016	0,082	0,225
482	2014-01-14	01:57	33,96	4,5687	- 76,5970	27,25	1,2	4	169	0,000	0,002	0,005	0,001
483	2014-01-14	08:04	59,34	4,5647	- 76,6026	28,5	1,5	4	169	0,000	0,002	0,005	0,001
484	2014-01-14	21:17	0,96	4,5698	- 76,6181	29,81	1,6	4	189	0,009	0,001	0,005	0,000
485	2014-01-15	23:00	36,58	4,5627	- 76,5578	27,8	1,7	6	163	0,076	0,002	0,005	0,001
486	2014-01-16	17:48	18,99	5,5649	- 77,6013	26,88	2,3	4	200	0,140	0,005	0,003	0,000



487	2014-01-18	03:23	36,55	4,6242	- 76,5890	49,73	1,8	3	199	0,001	0,004	0,002	0,002
488	2014-01-18	09:46	15,35	4,5638	- 76,5573	28,3	1,8	3	174	0,000	0,002	0,003	0,001
489	2014-01-18	12:29	23,96	4,6351	- 76,6548	42,32	2,4	6	118	0,008	0,001	0,005	0,000
490	2014-01-18	17:19	41,88	5,7620	- 77,7615	51,89	2,4	4	220	0,000	0,004	0,004	0,001
491	2014-01-19	03:17	35,88	4,5786	- 76,6210	28,17	1,2	4	174	0,000	0,002	0,006	0,000
492	2014-01-19	11:22	40,82	5,8028	- 77,5863	44,17	2,1	4	227	0,001	0,003	0,003	0,003
493	2014-01-20	07:23	16,58	5,8236	- 76,9042	27,57	2,1	5	170	0,119	0,005	0,002	0,000
494	2014-01-20	12:11	56,11	5,9393	- 77,4542	40,7	1,7	4	229	0,001	0,004	0,003	0,002
495	2014-01-22	12:38	15,08	5,6386	- 76,9202	20,75	1,7	4	164	0,000	0,004	0,003	0,004
496	2014-01-22	23:07	48,59	4,5747	- 76,6483	29,5	1,3	4	176	0,000	0,001	0,005	0,001
497	2014-01-24	19:23	25,26	4,6485	- 76,6544	48,1	2,7	8	99	0,036	0,002	0,005	0,005
498	2014-01-25	06:16	56,58	4,0837	- 76,5664	63,29	1,5	5	151	0,023	0,001	0,005	0,001
499	2014-01-25	07:18	35,54	4,7137	- 77,3763	49,74	2,2	4	187	0,004	0,007	0,015	0,024
500	2014-01-27	08:14	37,97	4,5949	- 76,5870	35,01	1,2	4	171	0,000	0,001	0,005	0,001
501	2014-01-27	09:40	10,97	4,5652	- 76,5456	28,19	0,9	4	161	0,000	0,002	0,006	0,001
502	2014-01-28	02:49	2,44	4,5810	- 76,6245	28,12	1,9	6	174	0,058	0,002	0,005	0,001
503	2014-01-29	03:15	56,69	4,4000	- 76,4375	6,07	1,5	3	185	0,001	0,002	0,007	0,000
504	2014-01-29	23:17	32,8	4,5536	- 76,6185	28,55	1,2	4	169	0,000	0,002	0,005	0,000
505	2014-01-30	04:16	43,47	4,7835	- 76,6421	45,52	1,7	5	164	0,015	0,001	0,005	0,004
506	2014-01-30	04:43	22,72	4,8245	- 76,4987	51,72	1,8	4	154	0,000	0,002	0,006	0,003
507	2014-02-01	09:35	2,6	5,8222	- 76,6382	6,27	2,2	3	235	0,000	0,004	0,004	0,000
508	2014-02-01	20:46	21,68	4,5951	- 76,6809	30	2,0	6	148	0,036	0,001	0,004	0,000
509	2014-02-03	12:34	32,38	4,6863	- 76,6361	11,43	2,0	5	135	0,068	0,003	0,008	0,004
510	2014-02-07	06:55	35,02	5,8106	- 77,7360	46,74	2,0	5	231	0,036	0,005	0,004	0,004
511	2014-02-08	04:21	6,91	5,2804	- 76,6399	6,25	1,8	2	205	0,000	0,001	0,007	0,000
512	2014-02-11	17:13	36,04	4,6763	- 76,5972	48,98	1,8	4	172	0,000	0,000	0,005	0,002
513	2014-02-12	14:31	11,08	4,7362	- 76,6148	55,22	2,2	4	167	0,000	0,000	0,006	0,002
514	2014-02-14	19:41	32,8	5,3257	- 77,3463	32,51	1,9	4	171	0,005	0,001	0,000	0,011
515	2014-02-20	15:33	2,09	5,7547	- 76,6165	26,78	2,0	3	281	0,000	0,003	0,003	0,000
516	2014-02-23	02:34	56,74	4,2649	- 76,7804	25,74	1,8	6	199	0,026	0,000	0,006	0,001
517	2014-02-27	23:04	17,65	4,0492	- 76,7151	63,53	2,2	5	231	0,004	0,006	0,004	0,004
518	2014-02-28	08:26	13,7	4,8920	- 76,6123	66,34	1,0	2	189	0,000	0,000	0,004	0,001
519	2014-03-06	01:56	28,92	5,5548	- 77,7144	57,57	2,9	5	239	0,031	0,008	0,002	0,000
520	2014-03-06	05:34	28,97	4,2204	- 76,5213	83,55	2,7	3	209	0,001	0,001	0,007	0,002
521	2014-03-08	11:54	23,06	4,7056	- 76,6681	51,25	2,0	5	106	0,015	0,002	0,002	0,010
522	2014-03-14	09:04	1,44	4,4265	- 76,6549	77,68	1,4	4	145	0,001	0,002	0,006	0,001
523	2014-03-15	02:01	18,68	4,5826	- 76,8050	40,52	1,8	7	163	0,054	0,000	0,004	0,002
524	2014-03-17	18:33	34,44	4,1542	- 76,5591	64,9	1,9	5	132	0,031	0,001	0,005	0,001
525	2014-03-18	00:12	8,3	4,5546	- 77,3469	65,85	2,1	6	181	0,117	0,000	0,005	0,004
526	2014-03-18	12:55	24,01	4,6498	- 76,6626	49,32	2,4	7	122	0,073	0,023	0,020	0,128
527	2014-03-21	08:56	56,94	5,6864	- 76,7148	27,9	1,6	5	163	0,045	0,003	0,002	0,000

528	2014-03-23	14:50	40,16	4,2953	- 76,7838	25,48	2,0	5	142	0,005	0,001	0,002	0,000
529	2014-03-25	16:17	6,27	4,2743	- 76,6429	50,17	2,0	5	146	0,042	0,001	0,005	0,002
530	2014-03-26	12:57	20,04	4,6495	- 76,6698	55,93	1,7	4	161	0,000	0,002	0,004	0,002
531	2014-03-27	10:09	4,44	5,1585	- 77,0207	6,11	1,6	3	219	0,000	0,004	0,000	0,000
532	2014-03-27	12:52	21,81	5,8491	- 77,5956	42,82	2,8	5	180	0,022	0,006	0,001	0,001
533	2014-03-28	10:34	1,08	4,3247	- 76,4574	55,39	2,3	5	125	0,039	0,000	0,006	0,002
534	2014-04-01	02:00	54,24	4,6568	- 76,6953	51,08	1,1	5	164	0,047	0,001	0,004	0,003
535	2014-04-04	15:07	1,27	4,0622	- 76,8520	49,43	2,0	7	93	0,106	0,005	0,005	0,003
536	2014-04-04	18:16	40,28	4,3065	- 76,5206	90,21	2,2	7	127	0,084	0,001	0,005	0,003
537	2014-04-07	03:51	37,22	4,5529	- 76,5324	23,25	1,4	4	234	0,046	0,001	0,011	0,007
538	2014-04-07	22:04	50,45	4,1672	- 76,6093	54,13	1,8	6	135	0,028	0,002	0,006	0,001
539	2014-04-07	22:38	11,26	5,2035	- 76,5363	84,25	3,2	8	120	0,042	0,002	0,004	0,003
540	2014-04-09	10:29	20,24	5,2624	- 77,4646	38,73	2,9	8	186	0,091	0,003	0,003	0,001
541	2014-04-10	19:24	50,01	4,2776	- 76,6377	72,46	2,0	5	166	0,051	0,002	0,005	0,000
542	2014-04-11	07:34	41,18	5,2063	- 76,5020	69,3	2,1	4	141	0,000	0,002	0,006	0,003
543	2014-04-13	02:50	24,33	5,5653	- 77,4898	48,05	2,1	6	188	0,021	0,004	0,004	0,002
544	2014-04-16	23:08	10,41	4,3442	- 76,6297	20,76	1,3	4	146	0,000	0,003	0,004	0,001
545	2014-04-17	10:56	46,41	5,2594	- 77,3432	63,22	1,9	4	213	0,001	0,002	0,007	0,004
546	2014-04-18	12:49	24,89	5,9625	- 77,4114	21,67	2,1	4	165	0,001	0,004	0,000	0,004
547	2014-04-20	19:22	30,01	4,3845	- 76,7120	10,35	1,5	3	230	0,000	0,001	0,003	0,002
548	2014-04-25	07:03	1,74	4,6473	- 76,6038	27,35	1,5	5	100	0,013	0,001	0,006	0,002
549	2014-04-25	17:20	1,57	4,2411	- 76,8677	82,94	2,8	7	90	0,074	0,000	0,004	0,002
550	2014-04-26	21:19	3,97	4,7934	- 77,3117	48,41	2,2	3	163	0,000	0,000	0,004	0,001
551	2014-04-27	22:02	10,87	4,7070	- 77,3960	43,21	1,9	4	206	0,000	0,002	0,006	0,002
552	2014-04-28	17:22	18,48	3,9672	- 76,6984	61,36	1,8	5	156	0,056	0,007	0,008	0,011
553	2014-04-29	10:50	38,76	4,6535	- 76,5862	6,08	1,3	4	155	0,009	0,004	0,005	0,000
554	2014-05-03	16:14	16,75	5,9214	- 77,4219	62,47	2,2	4	193	0,002	0,009	0,002	0,011
555	2014-05-03	18:07	47,83	5,8676	- 77,4088	48,02	2,0	6	167	0,010	0,005	0,003	0,004
556	2014-05-03	23:48	35,18	5,9293	- 77,4231	48,31	2,5	4	167	0,000	0,007	0,003	0,000
557	2014-05-04	02:56	44,1	5,9189	- 77,4633	62,5	3,1	3	253	0,001	0,005	0,001	0,001
558	2014-05-04	06:04	11,98	5,8656	- 77,5252	45,78	1,9	4	201	0,000	0,004	0,002	0,001
559	2014-05-05	08:20	6,14	5,8633	- 77,3205	42,33	1,3	3	288	0,000	0,002	0,000	0,001
560	2014-05-13	23:23	56,08	4,7039	- 76,6450	9,17	1,7	5	162	0,003	0,003	0,005	0,002
561	2014-05-14	15:07	26,83	5,2034	- 76,4405	6,1	1,2	4	217	0,013	0,002	0,004	0,000
562	2014-05-15	06:28	21,83	5,1266	- 77,0539	52,98	2,0	5	170	0,073	0,002	0,009	0,001
563	2014-05-16	04:34	19,08	5,2287	- 76,7816	43,13	1,9	7	131	0,145	0,002	0,003	0,052
564	2014-05-18	02:14	45,93	4,3808	- 76,6859	65,64	1,2	3	156	0,000	0,001	0,005	0,001
565	2014-05-18	02:57	18,12	4,3253	- 76,8262	22,88	1,5	4	179	0,003	0,004	0,002	0,004
566	2014-05-18	20:38	54,27	4,3740	- 76,7273	26,57	1,5	4	178	0,008	0,010	0,001	0,011
567	2014-05-20	05:13	8,6	4,1835	- 76,8802	17,24	1,1	3	149	0,000	0,002	0,003	0,000
568	2014-05-23	07:25	55,62	4,4782	- 77,1813	54,91	1,8	4	201	0,000	0,002	0,004	0,000

569	2014-05-24	11:49	24,87	5,9085	- 77,4496	51,08	2,3	5	170	0,007	0,005	0,003	0,005
570	2014-05-26	14:26	6,1	4,0688	- 76,8389	46,44	2,2	7	93	0,151	0,004	0,004	0,004
571	2014-05-27	20:18	43,43	5,9042	- 76,8390	43,18	2,4	4	239	0,000	0,004	0,003	0,001
572	2014-05-28	10:54	14,67	4,5728	- 76,6107	27,43	1,3	6	171	0,092	0,002	0,005	0,001
573	2014-05-31	09:00	20,6	4,3079	- 76,7822	27,93	2,1	8	117	0,071	0,003	0,003	0,001
574	2014-06-01	03:22	8,79	3,9426	- 76,6377	93,04	1,6	4	166	0,001	0,003	0,005	0,005
575	2014-06-07	06:06	37	4,4227	- 76,6243	62,31	1,1	2	285	0,000	0,003	0,001	0,001
576	2014-06-07	07:03	52,75	4,5584	- 76,6459	26,35	1,1	3	174	0,000	0,002	0,003	0,002
577	2014-06-10	23:02	35,63	4,2803	- 76,5190	93,13	1,3	4	128	0,000	0,002	0,006	0,003
578	2014-06-11	08:20	27,39	4,1390	- 76,5972	50,48	2,1	5	140	0,012	0,002	0,005	0,002
579	2014-06-11	11:44	43,09	4,0265	- 76,6722	91,22	1,8	5	169	0,014	0,001	0,004	0,003
580	2014-06-13	03:27	21,65	4,2299	- 76,7870	30,01	1,4	4	147	0,036	0,001	0,003	0,000
581	2014-06-14	23:51	7,76	5,8996	- 77,4953	38,96	2,7	5	238	0,003	0,006	0,003	0,001
582	2014-06-15	23:43	15,92	5,1511	- 76,7380	27,57	1,7	8	151	0,073	0,003	0,003	0,002
583	2014-06-16	04:12	18,66	5,6844	- 76,5806	25,87	2,0	5	233	0,104	0,005	0,006	0,002
584	2014-06-17	03:06	42,26	4,2682	- 76,8341	50,74	2,5	5	156	0,047	0,000	0,004	0,003
585	2014-06-23	09:25	35,6	5,2922	- 76,8336	17,4	1,7	5	174	0,034	0,004	0,004	0,002
586	2014-06-27	06:30	54,18	4,7452	- 77,3163	43,92	1,7	6	167	0,023	0,001	0,005	0,002
587	2014-06-28	01:12	8,66	4,2126	- 76,7311	29,16	1,3	6	140	0,083	0,002	0,003	0,000
588	2014-06-29	12:39	19,37	4,3188	- 76,8587	24,29	1,5	4	226	0,004	0,004	0,003	0,001
589	2014-07-02	09:44	40,61	5,4271	- 77,3342	49,64	2,7	4	247	0,001	0,001	0,008	0,001
590	2014-07-04	19:32	46,24	4,5631	- 76,5911	33,28	1,7	5	168	0,019	0,001	0,005	0,004
591	2014-07-07	02:41	55,2	5,3105	- 77,3178	46,64	1,2	5	166	0,051	0,008	0,023	0,114
592	2014-07-08	13:49	35,36	5,8630	- 76,9064	37,71	2,4	7	186	0,019	0,005	0,004	0,004
593	2014-07-10	01:32	37,09	5,1611	- 76,7822	29,31	1,3	4	155	0,040	0,001	0,004	0,000
594	2014-07-10	05:46	6,03	5,1841	- 76,8244	52,12	1,5	4	108	0,001	0,002	0,002	0,008
595	2014-07-11	20:57	45,19	5,3311	- 76,7499	57,49	1,6	4	174	0,000	0,001	0,005	0,001
596	2014-07-14	02:24	10,01	4,0662	- 76,9704	20,78	1,8	8	162	0,078	0,002	0,003	0,001
597	2014-07-15	04:22	14,09	5,4937	- 76,5448	62,46	1,5	7	200	0,050	0,003	0,000	0,001
598	2014-07-16	15:35	8,01	4,3230	- 77,0246	66,16	2,3	5	246	0,017	0,001	0,002	0,004
599	2014-07-19	20:52	2,61	5,3390	- 77,6446	48,44	3,1	8	189	0,121	0,005	0,004	0,005
600	2014-07-22	09:51	40,89	4,8170	- 76,7107	40,99	2,4	4	210	0,000	0,003	0,004	0,004
601	2014-07-26	09:18	8,85	5,8914	- 76,8907	20,3	1,9	5	163	0,004	0,004	0,003	0,002
602	2014-07-26	14:08	51,71	5,2151	- 77,4227	40,04	2,4	5	184	0,068	0,003	0,002	0,000
603	2014-07-27	10:32	44,04	5,5256	- 77,5681	53,09	1,7	7	196	0,098	0,005	0,007	0,001
604	2014-07-28	06:04	52,11	4,1973	- 76,5331	99,26	1,7	4	120	0,001	0,001	0,005	0,005
605	2014-07-29	04:31	28,33	5,1198	- 76,5259	47	2,7	5	224	0,107	0,000	0,003	0,002
606	2014-07-31	11:32	35,09	5,2212	- 77,5536	46,05	1,9	5	280	0,015	0,007	0,002	0,004
607	2014-08-01	03:44	11,01	4,5666	- 76,6161	26,43	1,1	3	171	0,000	0,001	0,004	0,001
608	2014-08-02	06:37	17,6	4,7362	- 76,7697	59,65	1,5	4	211	0,002	0,002	0,007	0,001
609	2014-08-06	19:51	36,78	4,1387	- 76,6419	65,72	2,6	5	183	0,071	0,000	0,006	0,003

610	2014-08-09	04:40	50,65	5,5621	- 77,3832	49,99	1,9	4	168	0 ,000	0,004	0,001	0,004
611	2014-08-11	06:57	36,56	5,1505	- 78,0972	80,09	2,4	4	241	0 ,001	0,005	0,001	0,007
612	2014-08-13	06:41	29,61	4,4962	- 76,7543	15,79	1,8	3	178	0 ,000	0,001	0,002	0,000
613	2014-08-14	05:24	39,74	4,3603	- 76,7506	29,61	1,7	4	160	0 ,009	0,001	0,003	0,000
614	2014-08-15	13:58	17,74	4,6691	- 76,5126	31,71	1,8	4	172	0 ,000	0,002	0,006	0,002
615	2014-08-16	07:24	39,19	5,2729	- 76,7107	65,57	1,6	5	162	0 ,067	0,002	0,003	0,000
616	2014-08-16	09:04	39,26	4,2562	- 76,4694	54,57	1,6	3	139	0 ,000	0,000	0,004	0,002
617	2014-08-19	11:24	18,16	5,2646	- 77,3217	29,11	1,9	4	165	0 ,000	0,003	0,002	0,001
618	2014-08-19	19:53	24,41	5,6361	- 77,3647	11,84	2,7	5	230	0 ,105	0,003	0,002	0,001
619	2014-08-20	09:16	0,61	4,5988	- 76,4888	56,02	1,3	5	144	0 ,003	0,000	0,006	0,001
620	2014-08-23	18:14	56,04	5,9668	- 76,5221	44,51	2,3	4	209	0 ,000	0,005	0,005	0,004
621	2014-08-26	05:16	47,95	4,1609	- 76,5359	63,77	1,3	3	159	0 ,000	0,001	0,005	0,001
622	2014-08-29	18:18	14,84	5,7430	- 77,7797	63,99	2,4	4	222	0 ,001	0,007	0,006	0,004
623	2014-09-05	08:04	27,37	5,5777	- 76,6384	69,38	1,9	8	207	0 ,052	0,004	0,002	0,002
624	2014-09-07	01:19	36,8	4,5740	- 76,5882	24,24	1,7	6	168	0 ,076	0,002	0,005	0,001
625	2014-09-10	14:52	38,61	5,8512	- 76,8807	26,34	2,1	4	200	0 ,006	0,006	0,005	0,009
626	2014-09-13	01:18	36,09	4,7365	- 76,7625	52,79	1,2	4	211	0 ,000	0,000	0,006	0,002
627	2014-09-16	11:59	46,87	4,8909	- 76,4490	74,53	1,3	3	299	0 ,000	0,000	0,002	0,002
628	2014-09-18	04:20	33,43	4,1800	- 76,5945	81,35	1,9	5	130	0 ,020	0,002	0,004	0,003
629	2014-09-19	07:40	6,43	5,8965	- 76,8944	39,42	1,7	5	162	0 ,040	0,007	0,004	0,001
630	2014-09-19	17:09	40,05	4,3591	- 76,4567	93,74	1,8	4	162	0 ,001	0,000	0,006	0,005
631	2014-09-21	05:52	41,28	4,6023	- 76,6330	21,37	1,8	6	126	0 ,035	0,001	0,002	0,002
632	2014-09-21	09:30	16,2	4,8345	- 76,5434	21,56	1,0	4	162	0 ,000	0,000	0,005	0,006
633	2014-09-23	08:24	2,87	4,9809	- 76,5133	70,53	1,4	4	168	0 ,000	0,003	0,005	0,001
634	2014-09-23	15:45	47,97	4,2313	- 76,4511	57,67	1,4	4	117	0 ,000	0,000	0,006	0,002
635	2014-09-25	08:41	43,91	5,6109	- 77,6336	48,97	2,8	8	198	0 ,034	0,005	0,003	0,004
636	2014-10-01	20:20	22,63	4,5309	- 76,5851	33,85	1,4	4	163	0 ,001	0,001	0,005	0,004
637	2014-10-04	04:26	11,45	4,0187	- 76,5168	65,34	1,4	6	133	0 ,024	0,003	0,005	0,001
638	2014-10-07	08:33	42,23	4,7157	- 76,5146	35,44	1,5	6	225	0 ,050	0,001	0,004	0,000
639	2014-10-07	17:33	59,13	4,4259	- 76,7501	59,02	2,3	6	175	0 ,077	0,001	0,007	0,002
640	2014-10-10	06:01	49,28	4,0365	- 76,8822	41,14	1,2	4	173	0 ,000	0,001	0,003	0,001
641	2014-10-12	13:25	20,46	4,2794	- 76,7620	87,53	1,6	4	151	0 ,000	0,001	0,005	0,001
642	2014-10-12	13:55	52,57	4,3497	- 76,5861	90,36	1,9	8	206	0 ,077	0,000	0,005	0,003
643	2014-10-12	23:03	17,4	4,3868	- 76,6858	76,73	1,1	3	156	0 ,000	0,001	0,005	0,001
644	2014-10-12	23:20	28,7	4,5509	- 76,6930	46,03	1,9	7	156	0 ,036	0,001	0,004	0,003
645	2014-10-13	18:05	49,25	4,5758	- 76,6543	19,69	1,7	4	177	0 ,000	0,002	0,002	0,000
646	2014-10-13	19:51	24,36	4,0652	- 76,8882	26,43	1,8	4	166	0 ,000	0,002	0,003	0,000
647	2014-10-14	02:21	35,04	4,1577	- 76,7440	46,1	1,7	4	144	0 ,000	0,002	0,005	0,003
648	2014-10-16	20:06	46,45	5,6705	- 76,6138	21,67	2,4	4	154	0 ,013	0,004	0,003	0,008
649	2014-10-21	08:15	43,53	4,9361	- 76,7168	8,35	1,6	4	183	0 ,000	0,000	0,004	0,001
650	2014-10-22	11:00	20,79	5,5260	- 77,4991	57,96	2,5	5	196	0 ,017	0,003	0,004	0,004

651	2014-10-22	11:46	16,49	5,4332	- 76,9078	36,53	1,7	6	172	0,085	0,005	0,004	0,005
652	2014-10-24	09:32	12,37	4,2503	- 76,7996	15,79	1,3	3	215	0,000	0,000	0,002	0,001
653	2014-10-24	20:48	30,48	4,0198	- 76,8895	29,09	1,8	5	159	0,002	0,003	0,002	0,001
654	2014-10-28	00:35	2,9	5,9565	- 76,6926	28,34	1,4	4	215	0,015	0,005	0,004	0,000
655	2014-10-29	05:20	36,92	4,3816	- 76,8710	54,12	1,4	5	100	0,004	0,002	0,006	0,004
656	2014-11-02	13:11	1,97	5,3208	- 77,3537	51,93	1,7	4	174	0,000	0,002	0,005	0,003
657	2014-11-02	21:22	0,45	5,1182	- 76,5809	46,44	2,2	5	156	0,089	0,003	0,005	0,004
658	2014-11-03	09:37	28,07	4,8124	- 76,5392	94,13	2,0	5	228	0,106	0,001	0,003	0,001
659	2014-11-04	02:02	55,33	5,1902	- 78,0002	66,72	2,2	5	234	0,027	0,004	0,003	0,002
660	2014-11-06	20:44	56	5,3189	- 76,7067	6,1	1,6	3	169	0,000	0,001	0,007	0,000
661	2014-11-09	08:46	26,73	4,5628	- 76,5264	92,42	2,0	8	196	0,059	0,002	0,006	0,003
662	2014-11-09	14:57	47,58	4,5221	- 76,6494	23,51	1,9	5	187	0,003	0,000	0,002	0,001
663	2014-11-13	14:21	12,41	4,0972	- 76,6704	47,6	2,1	6	166	0,054	0,005	0,003	0,003
664	2014-11-14	08:26	43,93	4,1490	- 76,8856	23,16	2,5	6	148	0,057	0,000	0,002	0,000
665	2014-11-15	11:04	51,31	4,1966	- 76,8869	18,41	1,5	4	152	0,000	0,002	0,003	0,001
666	2014-11-16	07:03	48,77	4,1650	- 76,6319	52,93	1,9	4	136	0,000	0,001	0,005	0,000
667	2014-11-17	09:49	10,37	4,2002	- 76,7997	25,17	1,4	5	145	0,114	0,002	0,002	0,001
668	2014-11-18	01:41	8,39	4,1046	- 76,5832	107,13	1,5	4	164	0,015	0,005	0,009	0,020
669	2014-11-20	17:35	40,86	4,0498	- 76,9106	51,81	2,2	6	130	0,077	0,003	0,004	0,003
670	2014-11-20	18:27	4,17	4,1699	- 76,8897	24,07	2,3	6	148	0,025	0,002	0,003	0,000
671	2014-11-21	18:22	8,42	5,8700	- 77,3216	14,52	3,0	5	162	0,038	0,004	0,005	0,001
672	2014-11-24	11:33	33,2	5,8578	- 76,6786	7,7	1,2	3	213	0,000	0,007	0,004	0,003
673	2014-11-27	03:30	36,07	4,2785	- 76,5045	60,53	1,2	5	124	0,000	0,001	0,005	0,001
674	2014-11-27	08:20	46,43	5,7584	- 76,9667	20,35	1,2	4	181	0,000	0,004	0,003	0,002
675	2014-11-27	19:21	21,16	4,0313	- 76,7632	105,3	1,6	7	188	0,009	0,003	0,004	0,001
676	2014-11-28	22:05	26,78	4,8895	- 77,3798	26,02	1,9	3	197	0,000	0,001	0,003	0,003
677	2014-11-29	04:46	42,08	5,8682	- 76,5650	26,53	1,4	4	150	0,000	0,004	0,003	0,000
678	2014-12-14	01:10	32,51	4,0844	- 76,9078	56,35	1,6	4	136	0,000	0,003	0,004	0,002
679	2014-12-14	04:15	37,43	5,6078	- 77,8494	49,87	2,3	4	225	0,000	0,005	0,004	0,003
680	2015-01-01	15:43	32,99	4,3063	- 76,8942	47,43	1,7	5	168	0,026	0,012	0,030	0,097
681	2015-01-02	02:40	8,19	5,6988	- 77,9801	6,64	2,1	3	207	0,000	0,010	0,001	0,002
682	2015-01-02	07:40	5,01	5,6259	- 77,5090	57,85	1,6	4	190	0,001	0,003	0,008	0,001
683	2015-01-02	14:24	31,69	4,5425	- 76,6319	28,23	1,9	5	170	0,046	0,001	0,004	0,002
684	2015-01-05	08:26	35,15	5,6999	- 77,2430	45,92	1,8	4	191	0,000	0,002	0,001	0,000
685	2015-01-09	07:05	28,3	5,6802	- 77,4368	58,3	3,3	4	173	0,000	0,008	0,000	0,002
686	2015-01-09	11:18	37,93	5,7228	- 76,8810	8,82	1,8	4	176	0,000	0,005	0,006	0,003
687	2015-01-14	08:54	21,38	5,6250	- 76,5642	54,76	2,4	6	165	0,092	0,006	0,003	0,002
688	2015-01-16	09:40	5,42	4,1879	- 76,5585	57,41	1,7	5	125	0,029	0,001	0,005	0,000
689	2015-01-16	21:45	34,33	5,7289	- 77,9128	61,36	2,9	5	234	0,061	0,012	0,041	0,058
690	2015-01-17	07:18	38,64	4,0849	- 76,8302	23,93	1,5	3	162	0,000	0,001	0,002	0,001
691	2015-01-20	13:16	51,02	4,3379	- 76,7847	26,23	2,5	8	112	0,072	0,000	0,003	0,002

692	2015-01-22	15:12	17,47	5,4858	- 77,4017	106,23	2,0	3	182	0,001	0,006	0,003	0,003
693	2015-01-23	00:14	1,01	5,8730	- 77,2869	8,56	1,7	3	209	0,000	0,003	0,001	0,001
694	2015-01-23	16:07	29,39	5,3157	- 78,0518	65,03	2,3	4	216	0,000	0,004	0,000	0,001
695	2015-01-23	18:33	5,61	4,0988	- 76,7645	47,17	2,2	5	149	0,033	0,006	0,041	0,144
696	2015-01-24	01:50	33,62	5,5406	- 77,5188	42,32	1,6	4	191	0,001	0,004	0,003	0,007
697	2015-01-24	12:42	36,37	4,6453	- 76,6397	47,22	1,8	4	186	0,002	0,004	0,007	0,002
698	2015-01-25	06:11	10,12	5,8683	- 76,5220	46,69	2,2	6	76	0,067	0,004	0,005	0,002
699	2015-01-26	03:27	31,5	5,8510	- 76,8776	6,1	1,4	3	165	0,000	0,003	0,006	0,000
700	2015-01-26	05:16	15,56	4,3157	- 76,7744	23,82	1,9	7	157	0,082	0,001	0,002	0,001
701	2015-01-26	06:45	25,95	4,6204	- 76,6022	56,24	1,2	4	154	0,001	0,000	0,006	0,003
702	2015-01-26	11:38	4,11	5,1816	- 76,6674	56,68	1,5	4	153	0,000	0,002	0,006	0,002
703	2015-01-26	15:00	21,29	4,1312	- 76,8638	26,57	1,6	5	152	0,018	0,002	0,002	0,000
704	2015-01-27	05:33	51	4,6427	- 76,4587	91,43	2,2	9	202	0,068	0,002	0,006	0,003
705	2015-01-28	13:06	24,46	5,4764	- 77,8738	50,42	2,0	3	321	0,003	0,008	0,000	0,002
706	2015-01-30	03:18	36,55	4,4476	- 76,4672	64,28	1,6	7	152	0,054	0,001	0,005	0,000
707	2015-01-30	08:34	5,27	5,2534	- 78,0029	59,99	2,2	5	235	0,083	0,003	0,003	0,001
708	2015-01-31	00:08	41,87	5,4115	- 77,9567	74,74	2,7	4	209	0,001	0,006	0,003	0,004
709	2015-01-31	00:32	58,43	5,2394	- 77,9936	64,99	2,8	3	310	0,000	0,000	0,000	0,000
710	2015-01-31	22:06	19,24	4,7046	- 76,7110	62,42	3,0	6	120	0,059	0,004	0,006	0,002
711	2015-02-01	08:50	51,05	5,2803	- 78,0147	65,25	2,3	4	236	0,000	0,006	0,001	0,000
712	2015-02-01	19:21	47,6	5,2895	- 78,1632	57,3	2,5	4	224	0,002	0,006	0,001	0,008
713	2015-02-02	05:39	48,26	4,7732	- 77,4313	52,96	1,4	4	208	0,062	0,002	0,003	0,006
714	2015-02-02	07:03	6,75	4,3870	- 76,7810	6,2	1,6	3	166	0,000	0,000	0,002	0,000
715	2015-02-03	00:16	23,28	5,3397	- 77,9581	61,29	2,2	3	243	0,001	0,006	0,000	0,004
716	2015-02-03	01:54	7,75	5,2716	- 78,1018	66,53	2,3	5	220	0,009	0,002	0,002	0,002
717	2015-02-04	05:37	14,08	5,1158	- 77,1636	70,23	1,0	4	184	0,000	0,002	0,003	0,003
718	2015-02-05	05:54	33,7	4,0292	- 76,8245	47,09	1,6	4	174	0,000	0,001	0,003	0,002
719	2015-02-05	12:34	57,2	4,6601	- 76,4261	26,32	1,5	3	217	0,000	0,002	0,000	0,001
720	2015-02-05	15:46	29,58	4,3775	- 76,7779	22,83	1,5	4	166	0,000	0,000	0,002	0,001
721	2015-02-06	09:49	5,14	5,2755	- 78,0222	65,24	2,5	4	236	0,000	0,006	0,002	0,000
722	2015-02-06	16:55	36,66	4,1131	- 76,4793	65,92	1,6	4	131	0,000	0,001	0,005	0,001
723	2015-02-07	08:14	24	4,0109	- 76,8305	26,38	2,0	5	120	0,007	0,002	0,002	0,000
724	2015-02-07	08:38	27,87	4,0354	- 76,8302	26,42	1,6	4	172	0,000	0,002	0,002	0,000
725	2015-02-07	13:57	49,73	4,9868	- 77,0297	54,25	2,2	4	174	0,000	0,003	0,004	0,003
726	2015-02-10	10:50	36,13	5,4047	- 77,3069	14,72	2,1	5	165	0,055	0,006	0,004	0,002
727	2015-02-11	09:54	36,2	4,1190	- 76,7169	60,34	1,2	3	150	0,000	0,003	0,005	0,002
728	2015-02-11	21:38	9,42	4,5512	- 76,4679	78,22	1,9	4	151	0,000	0,001	0,005	0,001
729	2015-02-12	00:04	48,78	5,2447	- 76,4046	65,5	1,9	3	274	0,000	0,003	0,003	0,000
730	2015-02-12	12:46	57,79	5,9064	- 77,5335	22,98	2,7	4	220	0,000	0,005	0,001	0,003
731	2015-02-12	17:46	52,45	5,2717	- 76,8471	6,1	1,7	3	174	0,000	0,005	0,004	0,000
732	2015-02-13	11:08	26,07	4,1536	- 76,5982	81,43	1,7	5	149	0,000	0,002	0,004	0,003

733	2015-02-14	02:06	57,38	4,1660	- 77,4414	62,27	2,3	8	246	0,092	0,002	0,002	0,002
734	2015-02-14	16:57	19,63	5,7663	- 78,0014	78,44	2,9	4	209	0,001	0,010	0,004	0,003
735	2015-02-15	09:36	58,55	5,3312	- 78,0620	64,94	2,2	5	217	0,046	0,003	0,002	0,001
736	2015-02-15	19:42	28,69	4,9559	- 77,3139	24,44	1,7	4	190	0,009	0,002	0,003	0,003
737	2015-02-15	22:48	32,19	4,7943	- 76,6013	64,41	1,9	8	147	0,044	0,002	0,005	0,002
738	2015-02-17	09:39	31,55	4,4130	- 76,8274	26,3	1,5	5	157	0,050	0,001	0,003	0,001
739	2015-02-19	05:50	47,43	5,3099	- 77,9785	58,45	2,1	4	233	0,001	0,004	0,001	0,004
740	2015-02-21	06:16	56,61	4,5381	- 76,5861	8,38	1,7	3	163	0,000	0,003	0,003	0,003
741	2015-02-21	20:08	49,29	4,3001	- 76,8215	70,25	1,8	5	238	0,039	0,002	0,003	0,001
742	2015-02-23	22:27	10,68	4,6569	- 77,5879	56,07	2,6	5	244	0,001	0,003	0,006	0,000
743	2015-02-23	23:10	14,17	4,4368	- 76,5848	71,94	1,6	3	234	0,000	0,000	0,000	0,001
744	2015-02-25	21:17	48,1	5,7887	- 76,8963	51,54	2,2	6	171	0,059	0,008	0,000	0,058
745	2015-02-28	01:31	13,8	4,3051	- 76,5667	114,04	3,1	6	182	0,049	0,001	0,005	0,000
746	2015-02-28	04:05	20,53	4,0762	- 76,5756	25,78	1,5	7	155	0,070	0,002	0,001	0,002
747	2015-03-07	01:18	40,51	5,4934	- 77,3808	65,82	1,8	5	178	0,069	0,006	0,024	0,044
748	2015-03-08	09:39	47,12	5,4070	- 78,0486	75,44	2,1	3	215	0,000	0,005	0,001	0,000
749	2015-03-10	09:59	43,91	5,3932	- 76,5479	68,88	2,3	8	166	0,098	0,002	0,002	0,004
750	2015-03-12	23:26	31,94	4,3038	- 76,5571	53,38	1,6	4	174	0,001	0,001	0,004	0,004
751	2015-03-13	05:50	55,68	4,1760	- 76,7545	21,65	1,8	6	140	0,050	0,002	0,002	0,000
752	2015-03-13	22:11	53,79	5,3724	- 76,5675	65,75	3,1	7	129	0,050	0,004	0,003	0,005
753	2015-03-14	12:34	42,38	4,5853	- 76,7315	30,05	1,9	6	155	0,043	0,000	0,004	0,000
754	2015-03-17	04:58	21,94	4,0734	- 76,5836	80,62	1,3	3	170	0,000	0,000	0,004	0,001
755	2015-03-18	10:18	0,52	4,2485	- 76,7888	24,35	1,7	3	215	0,000	0,000	0,002	0,000
756	2015-03-22	20:25	43,81	4,8107	- 77,3283	26,08	1,8	4	168	0,060	0,062	0,009	0,073
757	2015-03-27	03:26	14,59	5,4789	- 76,8101	48,26	1,4	4	225	0,006	0,000	0,002	0,017
758	2015-03-27	23:07	26,74	4,6131	- 76,5368	27,01	2,0	4	148	0,000	0,000	0,005	0,004
759	2015-03-28	07:47	21,46	5,5607	- 76,9433	21,08	1,7	5	169	0,022	0,005	0,002	0,002
760	2015-03-29	06:24	20,93	5,8539	- 77,4355	36,59	2,5	6	183	0,061	0,006	0,003	0,003
761	2015-03-29	08:15	43,78	4,8464	- 76,5229	15,01	1,6	6	161	0,070	0,001	0,004	0,003
762	2015-03-29	13:26	19,99	5,7202	- 77,1564	18,14	2,3	7	140	0,102	0,005	0,005	0,004
763	2015-03-30	23:22	52,26	5,9250	- 76,8707	52,91	2,7	6	146	0,028	0,008	0,003	0,002
764	2015-04-05	19:40	56,05	4,5779	- 76,5541	30,16	1,4	4	186	0,057	0,001	0,005	0,001
765	2015-04-07	14:00	17,48	5,4772	- 76,4931	97,36	4,1	10	130	0,070	0,006	0,006	0,003
766	2015-04-14	05:09	33,69	4,1054	- 76,6061	44,83	1,6	3	225	0,000	0,000	0,000	0,000
767	2015-04-16	18:58	26,73	5,5950	- 77,4902	30,58	2,0	3	194	0,000	0,004	0,002	0,000
768	2015-04-16	21:12	8,24	4,0531	- 76,7560	38,19	2,2	3	309	0,000	0,001	0,000	0,001
769	2015-04-18	18:34	58,48	4,3325	- 76,7983	18,19	1,8	2	338	0,000	0,000	0,000	0,001
770	2015-04-19	05:52	12,94	5,0907	- 76,7506	16,57	1,3	4	150	0,002	0,008	0,002	0,004
771	2015-04-20	07:28	17,21	5,6042	- 77,6647	26,56	1,3	3	221	0,000	0,001	0,000	0,001
772	2015-04-21	05:09	27,44	5,8499	- 77,5177	67,35	2,0	3	197	0,000	0,007	0,001	0,001
773	2015-04-22	07:12	34,21	4,6478	- 76,4237	2,42	1,3	4	205	0,112	0,004	0,004	0,000

774	2015-04-25	18:52	41,48	4,0746	- 76,5171	63,03	1,9	3	288	0,000	0,000	0,002	0,002
775	2015-04-29	03:59	46,89	5,6997	- 76,6250	30	1,9	4	197	0,012	0,004	0,005	0,000
776	2015-05-08	17:37	21,76	4,5638	- 76,4645	18,69	1,3	3	195	0,000	0,003	0,004	0,000
777	2015-05-09	05:28	23,85	5,3117	- 76,6068	87,27	2,4	8	137	0,057	0,003	0,005	0,001
778	2015-05-10	17:34	12,78	4,6035	- 76,6133	21,98	2,1	7	127	0,046	0,000	0,002	0,002
779	2015-05-18	08:12	35,9	5,3818	- 77,5672	51,15	2,3	5	196	0,002	0,003	0,005	0,003
780	2015-05-25	08:03	59,89	5,8803	- 77,5898	61,14	1,6	4	210	0,000	0,007	0,003	0,002
781	2015-05-25	08:07	38,1	5,8598	- 77,4985	46,09	2,5	5	190	0,047	0,004	0,005	0,000
782	2015-05-31	07:10	10,06	3,9697	- 76,8548	67,65	0,9	3	142	0,000	0,003	0,002	0,001
783	2015-05-31	15:17	21,36	3,9973	- 76,8149	87,49	1,4	5	137	0,013	0,004	0,004	0,001
784	2015-06-02	05:36	6,22	4,3466	- 76,6267	82,22	1,5	5	169	0,056	0,000	0,007	0,006
785	2015-06-09	14:47	47,98	4,0654	- 76,5938	66,13	2,8	9	139	0,023	0,001	0,006	0,001
786	2015-06-09	23:54	26,11	4,0489	- 76,5760	70,13	1,9	7	137	0,111	0,003	0,004	0,002
787	2015-06-12	02:13	42,59	4,1580	- 76,6655	93,41	1,5	7	199	0,037	0,003	0,004	0,001
788	2015-06-12	15:43	32,41	4,0622	- 76,5201	68,82	1,3	4	159	0,000	0,002	0,004	0,002
789	2015-06-14	02:22	39,73	4,1524	- 76,7975	30	1,4	5	177	0,093	0,003	0,003	0,000
790	2015-06-14	05:00	47,87	4,6161	- 76,5242	87,08	2,3	5	200	0,011	0,002	0,007	0,003
791	2015-06-14	12:29	46,02	5,3956	- 77,3960	41,34	1,6	6	180	0,052	0,011	0,053	0,148
792	2015-06-14	12:45	1,15	5,6809	- 77,9694	78,86	2,0	4	237	0,001	0,009	0,004	0,002
793	2015-06-15	16:49	57,25	4,4862	- 76,6108	58,33	1,4	7	180	0,059	0,047	0,014	0,200
794	2015-06-16	02:22	12,14	4,8270	- 76,5483	8,32	1,3	3	206	0,000	0,002	0,005	0,000
795	2015-06-17	20:47	14,37	4,1026	- 76,8422	27,87	1,5	4	172	0,000	0,002	0,002	0,001
796	2015-06-18	05:16	56,65	4,6505	- 76,5471	88,46	1,2	4	220	0,005	0,001	0,006	0,012
797	2015-06-19	18:44	23,73	4,3627	- 76,8253	27,96	1,8	6	108	0,022	0,002	0,003	0,001
798	2015-06-25	09:14	15,12	5,6267	- 77,6134	48,06	1,7	3	213	0,000	0,004	0,002	0,001
799	2015-07-02	21:09	54,24	5,5213	- 76,6862	63,72	1,6	6	231	0,039	0,005	0,001	0,002
800	2015-07-02	23:10	36,45	5,5125	- 76,4337	55,42	1,6	2	305	0,000	0,000	0,000	0,000
801	2015-07-06	15:33	55,51	5,4426	- 76,8158	22,6	2,1	5	191	0,046	0,003	0,003	0,003
802	2015-07-07	07:41	21,2	5,3713	- 77,4034	50,78	1,3	4	184	0,043	0,015	0,025	0,128
803	2015-07-07	09:47	3,53	4,0575	- 76,5171	66,73	1,5	3	154	0,000	0,000	0,004	0,002
804	2015-07-08	09:01	41,05	4,6532	- 77,3322	52,12	1,6	4	174	0,409	0,007	0,013	0,146
805	2015-07-08	13:00	50,37	4,8539	- 76,8566	46,45	1,7	5	153	0,007	0,000	0,004	0,002
806	2015-07-09	07:55	0,95	5,6589	- 77,7896	43,45	1,5	4	269	0,001	0,006	0,002	0,003
807	2015-07-10	11:17	26,57	5,7144	- 76,9134	20,79	2,8	5	180	0,043	0,002	0,002	0,004
808	2015-07-10	14:54	39,39	5,3456	- 78,0477	58,4	2,6	5	239	0,028	0,002	0,002	0,002
809	2015-07-11	09:21	11,92	4,3896	- 76,6156	92,02	2,3	10	226	0,070	0,002	0,003	0,000
810	2015-07-13	06:07	12,42	5,6984	- 77,0941	13,07	1,4	4	198	0,000	0,001	0,003	0,002
811	2015-07-19	01:06	5,57	5,7637	- 76,5806	29,88	2,1	6	151	0,083	0,005	0,005	0,000
812	2015-07-19	02:42	54,58	4,3560	- 76,9363	61,15	1,9	4	108	0,055	0,004	0,002	0,023
813	2015-07-23	19:01	25,08	3,9275	- 76,9725	47,02	1,7	3	200	0,000	0,002	0,003	0,000
814	2015-07-24	02:01	28,07	4,4623	- 76,5227	96,55	1,2	4	229	0,011	0,001	0,014	0,017



815	2015-07-25	16:50	53,88	4,5784	- 76,6119	29,96	1,5	4	172	0,005	0,001	0,005	0,000
816	2015-07-26	00:25	39,37	4,4394	- 76,4771	86,56	1,8	7	153	0,044	0,001	0,005	0,002
817	2015-07-26	02:19	17,16	5,7209	- 76,9474	22,19	1,8	4	229	0,010	0,004	0,004	0,000
818	2015-07-30	17:42	39,87	5,6796	- 76,8233	46,64	1,8	4	220	0,000	0,003	0,002	0,002
819	2015-07-31	08:51	3,6	5,2940	- 77,4333	26	2,6	7	184	0,092	0,004	0,003	0,000
820	2015-08-01	07:23	55,93	5,2623	- 77,4451	27,9	2,2	7	186	0,095	0,004	0,003	0,000
821	2015-08-02	06:23	24,73	4,0023	- 76,6551	95,42	1,5	3	178	0,001	0,002	0,006	0,002
822	2015-08-05	12:59	56,98	5,7858	- 76,7928	19,46	1,8	6	236	0,053	0,003	0,001	0,003
823	2015-08-07	02:44	7,15	5,9656	- 76,8755	19,36	1,7	4	209	0,001	0,003	0,002	0,001
824	2015-08-07	23:28	43,95	5,8661	- 78,0980	93,75	2,2	4	236	0,007	0,001	0,015	0,015
825	2015-08-11	09:30	40,29	4,3561	- 76,7810	50,83	2,3	6	163	0,022	0,000	0,005	0,003
826	2015-08-13	23:13	35,96	5,3431	- 77,9097	67,71	2,6	4	207	0,000	0,003	0,001	0,001
827	2015-08-14	06:42	11,88	4,5353	- 76,7414	56,03	1,6	6	244	0,085	0,000	0,003	0,003
828	2015-08-17	07:55	32,24	4,0193	- 76,8297	45,06	1,6	5	176	0,062	0,000	0,003	0,002
829	2015-08-19	07:18	22,77	4,9794	- 76,6257	20,84	1,2	5	230	0,098	0,011	0,044	0,136
830	2015-08-20	09:54	37,14	5,6400	- 77,9531	65,99	2,2	4	235	0,000	0,007	0,000	0,005
831	2015-08-22	07:28	17,14	5,2299	- 77,6408	52,23	1,1	4	204	0,000	0,004	0,002	0,002
832	2015-08-24	00:22	28,81	4,1221	- 76,7690	44,99	1,3	3	197	0,000	0,000	0,003	0,000
833	2015-08-24	01:37	8,58	4,1770	- 76,7668	36,22	1,5	4	204	0,000	0,002	0,003	0,000
834	2015-08-25	08:12	52,22	5,6351	- 77,7802	61,92	2,3	5	219	0,027	0,000	0,026	0,053
835	2015-08-26	15:44	24,39	5,6661	- 77,4850	63,12	2,8	6	188	0,055	0,010	0,008	0,017
836	2015-08-27	15:02	5,18	4,0007	- 76,7611	55,99	1,5	5	155	0,007	0,004	0,004	0,001
837	2015-08-27	23:44	48,71	3,9970	- 76,7744	48,22	1,5	4	179	0,000	0,002	0,004	0,002
838	2015-08-28	16:27	10,9	4,0681	- 76,7684	50,74	2,1	6	145	0,063	0,001	0,004	0,003
839	2015-08-30	15:19	45	4,9481	- 76,9661	35,07	1,6	4	133	0,007	0,001	0,008	0,022
840	2015-09-04	06:04	59,6	4,3272	- 77,6851	63,23	1,8	7	218	0,085	0,002	0,001	0,005
841	2015-09-04	23:14	54,46	4,0943	- 76,5262	67,6	1,4	5	162	0,007	0,002	0,004	0,002
842	2015-09-06	07:48	0,41	5,8645	- 77,5227	23,83	2,2	9	220	0,101	0,006	0,003	0,001
843	2015-09-08	07:22	0,62	4,3185	- 76,6319	73,97	1,5	5	191	0,029	0,002	0,004	0,003
844	2015-09-14	00:17	6,29	4,0077	- 76,5760	68,63	1,6	4	183	0,000	0,004	0,004	0,002
845	2015-09-17	00:12	59,31	5,1217	- 77,5438	45,28	2,3	4	278	0,001	0,003	0,006	0,005
846	2015-09-19	06:05	8,72	3,9864	- 76,4463	38,73	1,3	4	179	0,000	0,003	0,004	0,001
847	2015-09-29	08:37	12,54	4,7542	- 76,5585	18,81	1,9	5	181	0,004	0,000	0,004	0,005
848	2015-10-03	08:21	53,84	5,3305	- 77,3982	40,38	2,0	5	180	0,030	0,004	0,003	0,002
849	2015-10-05	09:55	51,09	5,9161	- 77,3348	14,07	2,0	5	163	0,007	0,002	0,007	0,002
850	2015-10-09	11:09	30,27	4,9895	- 76,5207	50,84	1,7	5	220	0,007	0,001	0,003	0,002
851	2015-10-11	13:27	29,11	4,5168	- 76,7029	20,45	2,1	6	150	0,117	0,000	0,003	0,000
852	2015-10-16	13:28	50	5,7085	- 76,9018	16,53	2,5	6	183	0,038	0,004	0,004	0,005
853	2015-10-16	13:30	49,52	5,6963	- 76,9196	23,02	2,3	7	161	0,071	0,005	0,003	0,003
854	2015-10-16	21:51	8,16	4,7341	- 76,4378	62,65	1,9	6	208	0,068	0,000	0,004	0,001
855	2015-10-17	15:59	7,37	4,6344	- 76,8076	39,84	2,0	8	224	0,076	0,001	0,001	0,003

856	2015-10-21	04:38	42,55	4,3606	- 77,9034	90,06	2,2	8	238	0,034	0,001	0,001	0,005
857	2015-10-24	08:53	42,93	4,6899	- 77,6663	59,84	2,1	7	253	0,053	0,001	0,004	0,002
858	2015-10-24	09:19	40,96	5,8231	- 76,5131	93,31	1,5	5	200	0,001	0,006	0,004	0,007
859	2015-10-28	00:44	51,14	4,3431	- 76,8042	57,89	1,7	8	212	0,068	0,001	0,003	0,003
860	2015-11-05	12:23	45,07	5,3138	- 76,5049	65,61	1,9	5	228	0,038	0,011	0,003	0,075
861	2015-11-08	23:28	14,6	5,4322	- 76,7562	43,36	2,3	6	121	0,071	0,003	0,004	0,005
862	2015-11-09	00:02	51,59	5,0372	- 77,4661	48,96	1,7	3	237	0,000	0,002	0,001	0,003
863	2015-11-14	00:09	32,49	5,6134	- 77,8055	65,59	2,0	7	215	0,007	0,006	0,003	0,003
864	2015-11-17	23:01	9,37	4,1882	- 76,6401	96,11	2,1	9	201	0,092	0,002	0,005	0,002
865	2015-11-29	06:13	21,61	5,7704	- 76,8931	19,06	1,3	5	173	0,051	0,001	0,001	0,003
866	2015-12-01	13:35	1,09	5,6395	- 76,6437	47,42	1,6	4	208	0,000	0,003	0,001	0,002
867	2015-12-02	10:59	0,18	5,3409	- 77,6589	45,51	1,8	4	230	0,038	0,019	0,025	0,082
868	2015-12-03	00:39	13,46	4,5959	- 76,7214	43,08	1,7	6	122	0,054	0,001	0,004	0,006
869	2015-12-06	23:37	3,16	4,6881	- 76,5103	76,48	1,3	6	216	0,042	0,001	0,003	0,001
870	2015-12-08	19:07	42,03	5,4830	- 77,9426	49,8	2,5	3	233	0,000	0,005	0,002	0,003
871	2015-12-12	02:02	54,76	5,5651	- 77,6515	63,35	1,9	6	219	0,037	0,005	0,001	0,003
872	2015-12-12	08:37	1,26	4,1617	- 76,6590	98,43	1,9	8	199	0,035	0,002	0,004	0,000
873	2015-12-13	17:40	38,18	4,4656	- 76,6614	82,35	2,0	6	238	0,026	0,002	0,003	0,001
874	2015-12-17	05:07	19,12	4,9422	- 76,4506	87,14	1,4	4	212	0,000	0,001	0,004	0,001
875	2015-12-17	16:41	8,53	5,1874	- 77,0263	52,11	2,8	6	147	0,085	0,009	0,006	0,023
876	2015-12-19	11:28	54,16	4,0294	- 77,0685	15,64	2,4	5	185	0,132	0,000	0,004	0,002
877	2015-12-22	06:17	19,26	5,5366	- 77,7919	62,68	1,7	6	218	0,015	0,007	0,001	0,002
878	2015-12-23	17:34	53,05	4,1256	- 76,8362	64,21	2,3	7	221	0,040	0,001	0,005	0,002
879	2015-12-27	06:21	47,15	4,1919	- 77,5945	55,05	2,1	5	255	0,066	0,002	0,004	0,017
880	2015-12-28	13:50	6,01	4,1063	- 76,6757	101,44	2,8	8	126	0,111	0,003	0,007	0,002
881	2015-12-30	05:56	46,87	4,2807	- 76,8214	30,43	1,8	6	212	0,036	0,001	0,003	0,005
882	2015-12-30	17:00	13,16	5,7300	- 76,8398	24,55	1,9	5	241	0,002	0,004	0,004	0,002
883	2016-01-01	04:14	23,34	4,9368	- 76,4061	87,08	1,4	5	207	0,026	0,001	0,003	0,000
884	2016-01-02	10:44	5,95	4,2772	- 76,5618	91,65	1,9	6	168	0,057	0,002	0,005	0,003
885	2016-01-13	09:53	29,43	4,2582	- 76,8413	28,33	2,0	9	213	0,077	0,002	0,004	0,000
886	2016-01-14	15:47	18,8	5,8781	- 76,5825	25,22	1,8	6	154	0,102	0,004	0,003	0,001
887	2016-01-15	03:07	40,87	5,8782	- 76,4825	45,58	2,2	6	282	0,062	0,004	0,010	0,005
888	2016-01-15	08:14	34,47	5,6250	- 77,6935	67,17	2,1	5	203	0,088	0,007	0,000	0,000
889	2016-01-23	02:57	11,02	4,0319	- 76,9817	55,71	2,0	4	219	0,048	0,000	0,011	0,015
890	2016-01-23	14:08	37,82	5,2147	- 78,0434	93,4	2,3	4	277	0,027	0,008	0,029	0,030
891	2016-01-29	11:47	10,34	4,9443	- 76,5281	75,51	1,3	4	220	0,000	0,001	0,004	0,001
892	2016-01-30	00:47	29,81	4,7351	- 76,6224	72,24	2,3	7	188	0,043	0,001	0,007	0,003
893	2016-01-30	06:45	33,91	5,7724	- 77,8605	63,72	3,0	3	246	0,000	0,006	0,000	0,001
894	2016-01-31	02:22	35,51	4,2994	- 76,6583	96,31	1,8	8	201	0,071	0,001	0,005	0,002
895	2016-02-02	13:05	39,46	3,9140	- 76,4776	67,22	1,4	3	233	0,000	0,000	0,002	0,001
896	2016-02-04	09:03	46,17	4,6472	- 77,5976	54,97	2,1	8	238	0,053	0,013	0,002	0,040

897	2016-02-04	16:12	56,5	5,9943	- 76,9458	55,18	2,3	9	144	0,037	0,006	0,003	0,002
898	2016-02-07	15:46	36,51	4,9456	- 76,5044	78,29	1,6	7	218	0,100	0,001	0,004	0,001
899	2016-02-11	14:57	36,06	5,5225	- 77,5488	57,96	2,4	7	240	0,082	0,008	0,000	0,003
900	2016-02-12	22:39	15,4	4,2788	- 77,6055	52,88	2,2	8	225	0,059	0,004	0,002	0,007
901	2016-02-15	20:36	17,19	4,4878	- 76,7617	38,91	2,0	8	218	0,061	0,005	0,003	0,026
902	2016-02-18	08:12	45,46	4,6485	- 76,7625	57,66	1,5	7	214	0,082	0,002	0,003	0,003
903	2016-02-22	07:02	54,39	5,6150	- 77,4917	24,56	1,9	4	194	0,007	0,003	0,013	0,009
904	2016-02-29	23:04	2,46	5,5220	- 76,5876	62,75	1,3	6	154	0,027	0,002	0,006	0,001
905	2016-03-05	01:52	59,5	4,4517	- 76,5757	23,08	1,5	4	151	0,000	0,001	0,001	0,000
906	2016-03-09	01:58	46	4,4105	- 76,4815	91,43	1,4	6	195	0,094	0,001	0,005	0,002
907	2016-03-19	23:19	12,91	5,1590	- 77,6972	63,14	2,6	7	238	0,086	0,005	0,002	0,002
908	2016-03-20	12:52	0,73	5,6784	- 77,5188	49,38	2,1	6	182	0,036	0,002	0,001	0,003
909	2016-03-25	11:10	45,8	5,1658	- 76,4406	41,77	1,7	5	251	0,084	0,002	0,005	0,001
910	2016-03-27	08:19	6,85	4,2390	- 76,6234	98,94	1,6	6	205	0,070	0,001	0,004	0,001
911	2016-03-29	13:55	36,65	4,6459	- 77,7482	63,75	2,2	5	215	0,003	0,002	0,004	0,004
912	2016-04-04	06:02	40,35	5,9582	- 77,2544	6,78	1,8	3	197	0,000	0,002	0,005	0,003
913	2016-04-06	04:37	52,6	5,9310	- 76,8835	6,1	1,6	3	159	0,000	0,003	0,007	0,000
914	2016-04-07	19:39	48,62	4,1427	- 76,6287	80,26	2,1	4	202	0,000	0,001	0,003	0,001
915	2016-04-12	08:53	36,49	4,2457	- 76,6007	63,47	1,9	5	207	0,031	0,001	0,008	0,002
916	2016-04-14	19:43	29,59	4,6167	- 76,5138	93,7	2,6	8	128	0,074	0,001	0,006	0,003
917	2016-04-20	22:20	48,41	4,2205	- 76,8748	69,3	2,1	3	286	0,000	0,001	0,000	0,000
918	2016-04-24	10:18	45,8	5,7211	- 76,6586	7,75	2,1	4	155	0,402	0,004	0,005	0,035
919	2016-04-25	23:48	22,95	5,5370	- 76,5034	54,33	2,2	4	256	0,031	0,010	0,029	0,029
920	2016-04-27	06:25	36,84	4,0785	- 76,6687	53,33	1,8	4	141	0,001	0,004	0,006	0,004
921	2016-04-27	23:57	6,82	4,5856	- 77,2649	50,24	2,3	5	158	0,065	0,001	0,003	0,004
922	2016-05-01	09:46	4,83	4,5852	- 76,6107	29,08	1,6	4	173	0,000	0,001	0,005	0,000
923	2016-05-03	03:10	0,95	5,7025	- 77,2711	44,04	1,6	3	217	0,000	0,002	0,001	0,003
924	2016-05-04	04:14	23,87	4,7343	- 76,6345	28,64	1,7	5	136	0,020	0,001	0,004	0,000
925	2016-05-04	06:49	3,31	5,5298	- 77,5823	62,85	1,6	5	268	0,015	0,003	0,011	0,005
926	2016-05-06	21:37	41,32	5,3550	- 76,6789	9,55	1,7	4	171	0,000	0,003	0,003	0,001
927	2016-05-07	05:58	24,91	4,2026	- 76,7383	51,41	2,3	8	130	0,047	0,003	0,004	0,005
928	2016-05-07	06:31	12,93	4,2483	- 76,7610	25,01	1,5	4	143	0,000	0,001	0,002	0,001
929	2016-05-09	15:36	21,23	4,4345	- 78,2370	56,79	2,6	2	342	0,003	0,007	0,003	0,004
930	2016-05-11	13:10	8,79	4,2125	- 76,8954	71,87	1,5	4	155	0,009	0,001	0,004	0,000
931	2016-05-14	01:37	12,7	4,7195	- 76,4113	88,72	2,1	7	205	0,069	0,001	0,004	0,001
932	2016-05-14	04:02	53,88	4,9289	- 76,3905	77,17	1,8	4	276	0,037	0,019	0,014	0,025
933	2016-05-18	04:37	32,23	5,4062	- 76,6560	25,52	1,7	4	136	0,001	0,003	0,004	0,002
934	2016-05-20	23:10	41,03	5,0755	- 76,5514	65,48	2,0	6	132	0,049	0,005	0,004	0,003
935	2016-05-22	13:06	11,16	4,3016	- 76,7749	22,77	1,9	4	156	0,000	0,001	0,002	0,000
936	2016-05-23	03:51	17,28	5,5775	- 77,9176	70,03	2,9	5	250	0,071	0,003	0,001	0,001
937	2016-05-24	06:49	23,65	4,0545	- 76,9162	24,01	1,7	3	171	0,000	0,002	0,002	0,001

938	2016-05-25	06:06	38,99	5,3768	- 76,6229	49,89	1,5	4	267	0 ,000	0,001	0,002	0,002
939	2016-05-25	22:17	55,43	5,8619	- 77,5568	67,35	3,1	5	182	0 ,037	0,008	0,000	0,001
940	2016-05-26	01:56	13,52	5,8326	- 77,5500	39,34	2,6	4	202	0 ,003	0,005	0,004	0,005
941	2016-05-26	02:10	37,78	5,8414	- 77,4507	49,3	2,6	4	184	0 ,001	0,003	0,009	0,001
942	2016-05-26	03:00	57,43	5,8054	- 77,4918	25,07	2,9	6	192	0 ,092	0,091	0,082	0,279
943	2016-05-26	12:42	30,02	5,6067	- 77,3325	43,84	2,2	4	255	0 ,008	0,006	0,001	0,006
944	2016-05-29	06:47	47,93	5,1729	- 77,6838	96,81	2,5	3	194	0 ,000	0,002	0,001	0,002
945	2016-05-29	23:21	44,05	5,7799	- 77,6337	42,5	2,5	5	209	0 ,069	0,004	0,000	0,000
946	2016-05-30	00:29	49,25	5,8092	- 77,3145	8,06	2,3	5	162	0 ,060	0,002	0,007	0,001
947	2016-05-30	06:03	46,64	5,8607	- 77,4486	39,04	2,1	5	185	0 ,010	0,004	0,004	0,002
948	2016-05-30	06:19	26,66	3,9538	- 76,8273	46,09	1,2	3	169	0 ,000	0,002	0,003	0,001
949	2016-06-01	04:55	59,71	4,0426	- 77,0670	51,07	1,5	4	138	0 ,000	0,003	0,003	0,002
950	2016-06-05	06:23	9,69	5,7646	- 76,6289	44,13	2,3	5	155	0 ,016	0,004	0,006	0,005
951	2016-06-07	08:47	15,86	5,3534	- 77,0960	59,63	1,9	4	209	0 ,000	0,002	0,004	0,002
952	2016-06-07	08:49	44,49	4,3710	- 76,4787	28,59	1,8	4	132	0 ,000	0,000	0,004	0,002
953	2016-06-07	23:18	45,94	4,1131	- 76,8167	58,96	1,8	4	134	0 ,000	0,003	0,004	0,002
954	2016-06-09	06:45	15,35	5,6224	- 77,6811	51,63	2,1	5	209	0 ,030	0,004	0,002	0,001
955	2016-06-10	09:29	17	4,2549	- 76,8694	50,01	1,9	6	91	0 ,057	0,002	0,005	0,004
956	2016-06-11	21:53	13,21	4,1525	- 76,7440	92,75	1,5	5	214	0 ,079	0,001	0,003	0,001
957	2016-06-13	15:22	56,18	4,4765	- 76,7078	45,95	2,0	7	243	0 ,084	0,000	0,004	0,002
958	2016-06-15	03:00	49,16	5,6830	- 77,4879	52,06	1,8	5	188	0 ,017	0,004	0,007	0,003
959	2016-06-18	01:44	41,32	4,5690	- 76,6236	21,44	1,0	5	189	0 ,022	0,000	0,002	0,002

## ANEXO E

### CATÁLOGO DE EVENTOS SÍSMICOS INVERTIDOS CON EL PROGRAMA SIMULPS14 3D

N°	FECHA			LATITUD (N)	LONGITUD (W)	PROF	MAG	NST	Gap	Rms
	aa-mm-dd	hh:mm	ss	°	°	Km			°	
1	1993-08-29	05:43	54,93	4,1435	-76,5195	129,02	2,6	6	143	0,02
2	1994-01-14	03:51	17,41	5,221	-76,5058	63,11	3,4	4	188	0,00
3	1994-01-23	13: 9	31,90	4,732	-76,4667	96,58	2,9	7	198	0,03
4	1994-01-25	10:24	9,76	4,4875	-76,5263	110,93	2,8	6	141	0,04
5	1994-02-25	21:36	28,78	4,2135	-76,5948	107,39	2,5	5	194	0,00
6	1994-03-12	02:35	57,87	4,4082	-76,5145	96,50	3,2	5	220	0,01
7	1994-03-27	10:59	26,23	4,3382	-76,5495	62,25	3,5	4	225	0,00
8	1994-05-07	16:02	31,18	4,1975	-76,487	69,67	3,0	5	212	0,03
9	1995-02-08	20: 7	6,04	4,1387	-76,6978	128,60	3,5	5	110	0,02
10	1995-02-08	20:29	44,82	4,1277	-76,6142	81,57	3,5	6	124	0,07
11	1995-02-08	20:47	48,27	4,1683	-76,6837	115,10	3,8	6	83	0,03
12	1995-02-08	22: 9	0,21	4,1473	-76,5827	93,71	2,7	4	125	0,00
13	1995-02-09	00:55	0,77	4,1175	-76,6463	109,96	2,4	5	124	0,04
14	1995-02-09	01:54	54,78	4,0697	-76,6395	96,64	2,8	6	119	0,04
15	1995-02-09	04: 37	21,45	4,1493	-76,5828	83,56	2,6	5	125	0,03
16	1995-02-09	06:29	7,10	4,1775	-76,6825	112,68	3,5	5	91	0,01
17	1995-02-10	03: 3	3,80	4,0373	-76,6153	82,78	2,5	6	116	0,03
18	1995-02-10	04: 9	50,01	4,0812	-76,636	90,66	2,7	5	121	0,02
19	1995-02-10	04:26	51,67	4,07	-76,5863	90,42	2,8	6	118	0,04
20	1995-02-17	06:26	21,77	4,1298	-76,5505	102,16	2,3	4	127	0,04
21	1995-02-20	18:52	24,09	4,1228	-76,6287	94,38	3,2	6	124	0,02
22	1995-02-21	07: 1	39,53	4,1243	-76,5862	90,01	2,8	5	124	0,05
23	1995-02-23	01:26	34,28	4,047	-76,5783	93,21	2,6	4	117	0,02
24	1995-03-01	07: 7	57,02	4,01	-76,5118	69,36	2,4	5	112	0,02
25	1995-03-01	23:47	18,89	4,136	-76,6597	106,70	4,2	4	125	0,03
26	1995-03-02	22:44	29,80	4,1142	-76,643	103,85	3,2	4	124	0,04
27	1995-03-05	20:49	1,96	3,9782	-76,5622	67,03	2,5	4	132	0,00
28	1995-03-10	19:56	0,32	4,1357	-76,6522	105,22	3,1	4	126	0,04
29	1995-03-31	02:13	45,27	4,1757	-76,5788	96,43	2,5	4	154	0,00
30	1995-04-15	07:40	49,91	4,1707	-76,6998	116,59	3,1	4	118	0,00
31	1995-08-01	05:12	33,44	4,8568	-77,6962	98,55	2,4	4	206	0,00
32	1995-11-05	20:23	19,46	4,2648	-76,4395	106,06	2,3	5	128	0,02
33	1995-11-06	01: 0	17,11	3,9967	-77,0052	75,00	2,9	5	117	0,03
34	1995-11-06	10: 0	53,53	4,0137	-76,705	89,59	2,0	5	137	0,06
35	1995-11-09	15:22	8,39	4,1968	-76,4473	98,21	3,7	4	124	0,00

36	1995-11-09	16:53	54,31	5,1143	-76,5478	81,24	2,9	5	185	0,04
37	1995-12-12	03:18	54,53	4,0765	-76,7828	126,29	3,2	6	84	0,05
38	1996-01-10	21:13	53,18	4,1138	-77,0385	78,03	3,5	5	97	0,01
39	2010-06-02	00:22	39,20	4,1103	-76,5518	80,41	2,4	6	153	0,03
40	2010-10-15	23: 6	52,19	4,1703	-76,624	71,52	2,5	8	250	0,02
41	2010-11-07	21:34	5,73	4,1497	-76,529	59,50	2,2	9	145	0,06
42	2010-11-21	09:49	5,83	4,5762	-76,5372	87,72	2,1	5	248	0,04
43	2010-11-24	10:37	49,07	4,041	-76,4358	50,79	2,5	7	154	0,03
44	2010-12-21	04:58	59,17	4,2927	-76,5977	61,14	1,5	4	160	0,00
45	2011-01-27	7: 6	4,58	4,0505	-76,704	21,27	1,8	5	160	0,01
46	2011-01-31	7: 13	38,99	4,0978	-76,624	63,28	4,6	10	152	0,04
47	2011-02-01	21:40	9,59	4,2545	-76,5982	34,87	2,4	6	159	0,05
48	2011-02-06	23:20	11,04	4,1283	-76,7158	22,21	2,0	5	160	0,00
49	2011-02-11	2: 52	22,21	4,3977	-76,704	67,59	2,3	7	133	0,06
50	2011-02-11	4: 27	22,76	4,4007	-76,6768	53,81	2,0	6	130	0,03
51	2011-02-11	19:22	52,46	4,2773	-76,5612	18,40	2,1	5	160	0,00
52	2011-04-01	3: 25	46,68	3,9768	-76,5395	55,80	2,3	5	156	0,01
53	2011-04-05	9: 2	52,68	4,0485	-76,5192	123,03	2,1	5	190	0,01
54	2011-04-08	10:33	49,96	4,2338	-76,6072	94,64	2,3	8	228	0,04
55	2011-08-28	1: 25	17,85	4,0182	-76,4657	49,67	1,8	4	160	0,00
56	2011-09-23	22:51	7,53	4,2117	-76,6568	77,09	2,3	6	247	0,06
57	2011-11-11	20:29	30,74	4,089	-76,5203	69,91	2,7	12	185	0,08
58	2012-01-02	15: 3	42,45	4,1882	-76,7775	44,52	2,3	7	141	0,07
59	2012-01-08	9: 3	10,74	4,1645	-76,8485	36,58	2,7	6	226	0,03
60	2012-01-23	15: 6	4,44	4,7572	-76,7425	39,89	2,8	8	221	0,06
61	2012-02-04	21: 4	24,72	4,4522	-76,5523	70,07	1,7	5	207	0,04
62	2012-02-17	2: 50	20,57	4,2825	-76,5255	105,08	2,4	8	191	0,05
63	2012-02-24	12:16	30,00	4,1707	-76,6473	19,93	2,2	5	175	0,06
64	2012-02-25	20:10	33,75	4,2535	-76,7	65,07	1,3	4	172	0,00
65	2012-02-25	22:42	48,20	4,4097	-76,7165	39,23	1,7	4	162	0,00
66	2012-03-02	15: 2	38,63	4,1077	-76,6977	52,51	2,1	5	167	0,01
67	2012-03-06	0: 46	4,30	4,5825	-76,435	63,99	1,7	4	146	0,00
68	2012-03-06	13: 4	18,72	4,3357	-76,6925	43,13	2,3	5	151	0,00
69	2012-03-06	22:16	29,12	4,1258	-76,6725	66,88	1,8	5	158	0,03
70	2012-03-12	18:45	2,48	4,4427	-76,5162	65,47	1,8	6	201	0,05
71	2012-03-13	19: 6	47,64	4,1313	-77,3457	33,38	2,2	5	241	0,00
72	2012-03-21	9: 27	24,62	4,1655	-76,6442	79,91	2,2	4	150	0,00
73	2012-03-22	0: 3	41,17	4,3242	-76,4845	88,15	1,9	4	141	0,00
74	2012-04-01	19: 9	33,59	4,3225	-76,6852	65,55	2,4	4	149	0,00
75	2012-04-04	18:56	19,48	4,1852	-76,7267	49,53	1,9	5	136	0,02
76	2012-04-05	0: 21	3,89	5,1383	-77,4472	41,16	2,8	5	186	0,07

77	2012-04-07	5: 57	44,59	4,094	-76,5083	69,95	1,8	5	110	0,05
78	2012-04-07	21:27	3,40	4,3242	-76,7915	46,58	2,9	8	226	0,05
79	2012-04-08	00: 3	23,92	4,294	-76,7035	47,21	2,3	6	167	0,05
80	2012-04-08	09:42	3,34	4,2493	-76,644	88,18	2,1	7	209	0,06
81	2012-04-30	03:48	30,92	4,594	-76,6957	31,23	1,3	4	185	0,00
82	2012-05-04	01: 5	42,51	5,5252	-77,5305	23,26	2,6	8	193	0,03
83	2012-05-07	21:45	10,67	4,0037	-76,4707	66,34	1,8	5	130	0,01
84	2012-05-17	17: 2	48,58	4,1172	-76,7252	67,67	2,5	4	218	0,00
85	2012-06-29	23: 1	12,18	4,184	-76,6808	9,03	2,0	4	132	0,00
86	2012-07-26	15:22	34,24	4,2498	-76,7383	91,06	2,2	6	245	0,03
87	2012-07-27	03:16	45,35	4,0695	-76,7277	49,64	2,3	4	145	0,00
88	2012-07-27	05:37	8,80	4,0817	-76,545	66,45	2,3	4	111	0,00
89	2012-08-01	07:19	18,68	4,5535	-76,4818	78,64	2,5	7	222	0,05
90	2012-08-13	19:29	27,49	4,0215	-76,7612	24,15	2,1	4	184	0,00
91	2012-08-25	06:22	10,62	4,4813	-76,7082	25,69	2,1	6	169	0,03
92	2012-08-27	05: 1	46,76	4,4252	-77,157	51,35	2,3	4	218	0,00
93	2012-08-27	07: 0	5,66	4,4475	-76,5662	23,95	2,0	5	150	0,03
94	2012-08-31	11:12	23,90	4,5838	-76,6727	28,47	2,0	5	180	0,01
95	2012-09-03	01: 27	55,22	3,9425	-76,8948	20,32	1,8	4	165	0,00
96	2012-09-05	05: 20	57,10	5,0572	-76,5587	84,89	2,0	5	218	0,06
97	2012-09-22	12: 8	23,38	4,4047	-76,7137	50,11	2,8	6	161	0,07
98	2012-09-26	01: 16	5,76	5,7845	-76,8988	35,18	3,4	6	171	0,06
99	2012-10-13	19: 46	30,80	4,2258	-76,5225	93,76	1,9	4	163	0,00
100	2012-10-17	01: 42	37,39	4,0977	-76,7685	74,92	1,3	4	138	0,00
101	2012-10-21	19: 50	27,02	4,4908	-76,5475	70,74	2,0	5	150	0,01
102	2012-10-23	00: 32	22,47	4,9325	-76,5385	71,83	2,3	5	267	0,01
103	2012-10-26	05: 32	29,13	5,4882	-76,5377	49,42	2,0	6	199	0,03
104	2012-10-29	00: 22	13,39	4,3713	-76,7867	20,77	2,1	4	165	0,00
105	2012-11-14	01: 52	12,26	4,2308	-77,0623	31,16	1,7	4	177	0,00
106	2012-11-25	01: 4	24,55	4,6623	-76,5355	28,08	1,6	5	173	0,05
107	2012-11-25	23: 22	3,27	4,7347	-76,4352	65,44	2,3	6	167	0,07
108	2012-11-28	01: 46	36,75	4,0118	-76,4857	52,56	2,3	8	153	0,05
109	2012-12-12	01: 31	28,44	4,095	-76,6358	57,70	1,8	4	119	0,00
110	2012-12-12	20: 31	39,12	4,0833	-76,638	60,32	2,2	5	118	0,01
111	2012-12-18	13: 13	56,96	4,3515	-76,5508	85,82	2,3	6	138	0,06
112	2013-02-12	08: 8	50,02	5,3112	-76,55	85,62	2,9	5	149	0,07
113	2013-02-14	23: 6	45,01	5,0863	-76,6323	81,65	2,6	4	239	0,00
114	2013-02-24	02: 46	35,92	4,678	-76,5903	25,24	2,6	5	183	0,07
115	2013-02-26	4: 18	8,97	4,437	-76,6652	49,89	2,1	4	191	0,00
116	2013-03-08	23: 11	11,97	3,9877	-76,4908	63,06	2,2	5	157	0,03
117	2013-03-14	17: 55	10,31	4,0743	-76,5068	95,84	1,4	4	196	0,00

118	2013-04-09	01: 10	7,71	4,4153	-76,7537	35,66	2,5	4	167	0,00
119	2013-04-17	03: 7	2,57	5,8398	-77,7162	46,70	3,0	6	189	0,02
120	2013-05-08	21: 55	35,93	3,9593	-76,463	72,36	2,4	4	112	0,00
121	2013-05-09	01: 55	10,29	4,0285	-76,9183	53,74	2,3	4	128	0,00
122	2013-05-23	17: 15	40,95	5,6308	-76,6738	61,60	1,9	5	218	0,02
123	2013-05-23	20: 52	22,75	5,4868	-76,5787	69,56	2,2	7	144	0,06
124	2013-05-27	06: 50	30,32	4,7595	-76,759	48,02	1,8	4	213	0,00
125	2013-05-27	17: 42	12,40	4,0742	-76,7255	56,52	1,6	4	153	0,00
126	2013-05-31	12: 57	35,69	4,2102	-76,9568	41,39	2,3	4	161	0,00
127	2013-06-02	03: 14	1,01	4,0337	-76,9173	51,66	2,5	4	128	0,00
128	2013-06-20	00: 44	42,25	4,3492	-77,0557	11,38	1,5	4	191	0,01
129	2013-06-21	00: 42	5,16	4,3423	-76,8288	20,81	2,0	5	167	0,03
130	2013-06-29	10: 46	44,61	4,384	-76,5865	27,13	1,6	5	146	0,08
131	2013-07-06	09: 48	27,24	4,524	-76,5	38,26	1,5	5	150	0,06
132	2013-07-09	19: 26	21,49	4,1987	-76,6327	79,73	2,1	4	205	0,00
133	2013-07-14	17: 26	4,47	4,3437	-76,827	23,82	1,7	5	182	0,02
134	2013-07-20	17: 19	1,67	4,0277	-76,5807	99,06	2,4	7	144	0,04
135	2013-07-27	21: 6	24,37	4,698	-76,7753	56,59	1,8	4	206	0,00
136	2013-07-31	13: 58	34,61	4,6052	-76,772	39,49	2,8	5	193	0,09
137	2013-08-07	00: 59	9,23	4,1037	-76,8532	25,59	2,0	6	156	0,03
138	2013-08-07	07: 25	29,65	4,3403	-76,832	23,08	1,7	5	167	0,01
139	2013-08-08	23: 24	29,07	4,4205	-76,6397	59,14	2,0	6	156	0,04
140	2013-08-13	07: 49	43,30	4,6035	-76,9225	77,92	2,1	5	179	0,00
141	2013-08-18	18: 50	48,06	4,2848	-76,7247	29,77	1,2	4	149	0,00
142	2013-08-18	19: 18	19,19	4,174	-76,491	101,46	2,0	6	118	0,04
143	2013-08-18	19: 45	26,96	4,4572	-76,6992	49,40	2,2	5	149	0,04
144	2013-08-18	22: 22	1,14	4,4383	-76,7038	30,03	2,1	6	166	0,05
145	2013-08-18	23: 27	53,41	4,5048	-76,758	47,34	2,2	7	160	0,07
146	2013-08-20	00: 19	16,74	4,207	-76,7433	88,39	2,1	5	200	0,10
147	2013-08-24	18:40	7,03	4,4992	-76,7447	45,42	2,5	7	157	0,05
148	2013-08-26	03: 2	12,66	4,056	-77,3443	36,21	1,8	4	232	0,00
149	2013-09-01	23: 12	26,03	4,943	-76,5415	63,65	2,1	5	244	0,01
150	2013-09-13	03: 56	32,05	4,7737	-76,8438	57,30	2,3	6	222	0,07
151	2013-09-20	09: 55	8,60	4,5195	-76,5298	82,72	1,9	6	219	0,04
152	2013-09-25	04: 5	10,79	4,2347	-76,5323	82,14	1,5	5	125	0,03
153	2013-09-28	23:58	8,19	4,2213	-76,7413	22,36	1,6	4	142	0,00
154	2013-10-18	15: 0	57,85	4,6462	-76,503	77,41	2,3	4	216	0,00
155	2013-11-11	8: 24	52,47	5,0082	-76,4797	87,90	3,2	5	195	0,00
156	2013-11-11	17:44	30,49	4,5995	-76,6702	61,26	2,6	6	189	0,01
157	2013-11-14	04:32	27,81	4,3407	-76,7765	62,21	2,6	7	159	0,05
158	2013-11-16	00:13	15,99	4,1902	-76,6092	47,12	1,8	4	129	0,00



159	2013-11-23	19:47	17,67	4,2723	-76,8833	45,75	2,1	5	162	0,05
160	2013-11-25	12:21	10,68	4,5785	-76,4872	41,47	1,9	4	154	0,00
161	2013-12-08	04:54	55,19	4,4058	-76,7812	62,44	1,9	8	218	0,07
162	2013-12-13	16: 2	21,50	5,315	-76,669	53,76	2,6	8	202	0,06
163	2013-12-16	06:38	38,35	5,127	-77,2827	77,16	1,6	4	237	0,00
164	2013-12-23	16:26	5,96	4,5617	-76,643	51,13	1,6	4	191	0,00
165	2013-12-25	22:25	24,52	5,8993	-77,5317	51,58	2,9	5	174	0,01
166	2013-12-26	04: 4	28,53	5,7393	-77,428	1,01	2,2	4	219	0,02
167	2014-01-04	03: 3	48,39	4,5168	-76,6403	42,13	2,5	6	219	0,04
168	2014-01-05	04:35	3,90	4,5527	-76,6037	25,76	2,2	5	168	0,02
169	2014-01-05	04:41	36,06	4,5655	-76,5822	26,48	1,1	4	165	0,00
170	2014-01-05	04:53	17,02	4,5807	-76,5825	33,67	1,0	4	168	0,00
171	2014-01-05	08:19	14,10	4,58	-76,5993	27,29	1,5	5	170	0,03
172	2014-01-05	10:19	26,01	4,7308	-76,7082	50,38	3,1	8	114	0,06
173	2014-01-05	11:53	38,55	4,5613	-76,639	29,73	2,3	6	172	0,03
174	2014-01-05	12: 9	43,60	4,5677	-76,5678	24,78	1,7	5	164	0,04
175	2014-01-05	13:26	56,98	4,576	-76,6355	22,10	2,0	6	174	0,02
176	2014-01-05	13:56	25,27	4,5837	-76,595	46,25	2,7	5	159	0,07
177	2014-01-05	15:22	15,17	4,5488	-76,5343	24,16	1,8	4	157	0,00
178	2014-01-05	16:47	25,60	4,5677	-76,5607	26,18	1,8	4	163	0,00
179	2014-01-06	01:32	0,90	4,58	-76,5938	33,91	1,8	5	170	0,03
180	2014-01-06	22:34	21,86	5,4358	-76,6437	76,22	2,1	6	206	0,09
181	2014-01-08	03:27	13,32	4,578	-76,62	28,12	1,6	5	172	0,01
182	2014-01-08	15:51	4,35	4,5715	-76,644	25,78	2,3	7	230	0,07
183	2014-01-08	17:54	42,73	4,5773	-76,5948	28,00	1,7	5	169	0,01
184	2014-01-09	19:53	23,53	4,5573	-76,5973	29,11	1,6	5	167	0,04
185	2014-01-09	21:32	25,36	4,5913	-76,6523	32,08	1,9	7	180	0,05
186	2014-01-10	06:22	45,18	5,0188	-76,676	52,11	1,4	5	183	0,01
187	2014-01-10	21:47	33,55	4,4368	-76,6745	29,10	2,1	5	162	0,04
188	2014-01-11	02:31	31,79	4,5703	-76,62	29,82	1,6	6	159	0,04
189	2014-01-12	09:15	33,73	4,7278	-76,692	40,58	1,1	4	169	0,00
190	2014-01-12	11:42	29,31	4,5915	-76,5973	37,79	1,3	4	171	0,00
191	2014-01-14	01:57	34,68	4,5693	-76,6018	25,06	1,2	4	169	0,00
192	2014-01-14	08: 5	00,08	4,5658	-76,6085	27,34	1,5	4	169	0,00
193	2014-01-15	23: 0	37,32	4,5633	-76,562	26,23	1,7	6	163	0,07
194	2014-01-18	12:29	24,78	4,6267	-76,6572	38,93	2,4	6	118	0,00
195	2014-01-18	17:19	42,74	5,7638	-77,7648	50,88	2,4	4	220	0,00
196	2014-01-19	03:17	36,62	4,579	-76,6272	26,53	1,2	4	174	0,00
197	2014-01-22	23: 7	49,32	4,574	-76,6512	31,36	1,3	4	176	0,00
198	2014-01-24	19:23	26,16	4,6463	-76,6588	44,48	2,7	8	99	0,01
199	2014-01-25	06:16	57,56	4,0823	-76,57	60,20	1,5	5	151	0,01

200	2014-01-27	08:14	38,70	4,593	-76,5937	33,11	1,2	4	171	0,00
201	2014-01-27	09:40	11,70	4,5673	-76,554	26,11	0,9	4	161	0,00
202	2014-01-28	02:49	3,20	4,5812	-76,6275	27,66	1,9	6	174	0,01
203	2014-01-29	23:17	33,54	4,5557	-76,6248	27,67	1,2	4	169	0,00
204	2014-01-30	04:16	44,39	4,779	-76,6458	41,71	1,7	5	164	0,01
205	2014-01-30	04:43	23,59	4,8213	-76,4967	49,58	1,8	4	154	0,00
206	2014-02-01	20:46	22,46	4,5893	-76,677	30,20	2,0	6	148	0,02
207	2014-02-12	14:31	12,00	4,7292	-76,6158	52,42	2,2	4	167	0,00
208	2014-03-14	09: 4	2,24	4,422	-76,6575	76,30	1,4	4	145	0,00
209	2014-03-15	02: 1	19,43	4,5817	-76,8078	39,88	1,8	7	163	0,04
210	2014-03-17	18:33	35,43	4,1565	-76,5653	61,67	1,9	5	132	0,02
211	2014-03-18	00:12	9,04	4,553	-77,3598	65,16	2,1	6	181	0,05
212	2014-03-23	14:50	40,90	4,2902	-76,7855	22,46	2,0	5	142	0,04
213	2014-03-26	12:57	20,96	4,637	-76,6668	53,04	1,7	4	161	0,00
214	2014-03-28	10:34	1,97	4,3233	-76,4625	52,55	2,3	5	125	0,01
215	2014-04-04	15: 7	2,19	4,0577	-76,8562	45,07	2,0	7	93	0,06
216	2014-04-04	18:16	41,04	4,3032	-76,5275	89,28	2,2	7	127	0,08
217	2014-04-07	22: 4	51,39	4,1663	-76,614	50,93	1,8	6	135	0,07
218	2014-04-07	22:38	12,09	5,1955	-76,5402	83,60	3,2	8	120	0,02
219	2014-04-09	10:29	20,99	5,265	-77,4718	36,02	2,9	8	186	0,14
220	2014-04-10	19:24	50,85	4,2695	-76,6407	70,30	2,0	5	166	0,05
221	2014-04-11	07:34	42,18	5,2062	-76,5038	66,15	2,1	4	141	0,00
222	2014-04-25	17:20	2,57	4,2405	-76,8662	78,31	2,8	7	90	0,06
223	2014-05-15	06:28	22,78	5,1245	-77,0427	48,49	2,0	5	170	0,06
224	2014-05-16	04:34	19,90	5,222	-76,789	44,45	1,9	7	131	0,04
225	2014-05-24	11:49	25,84	5,9058	-77,4498	48,70	2,3	5	170	0,01
226	2014-05-26	14:26	6,83	4,0503	-76,8462	43,97	2,2	7	93	0,08
227	2014-05-28	10:54	15,41	4,5728	-76,614	25,59	1,3	6	171	0,07
228	2014-05-31	09: 0	21,40	4,3048	-76,7807	26,55	2,1	8	117	0,06
229	2014-06-01	03: 22	9,66	3,9545	-76,6412	91,27	1,6	4	166	0,00
230	2014-06-10	23: 2	36,30	4,2718	-76,5225	93,20	1,3	4	128	0,00
231	2014-06-11	11:44	43,96	4,0237	-76,6767	89,38	1,8	5	169	0,00
232	2014-06-13	03: 27	22,38	4,2315	-76,7872	29,59	1,4	4	147	0,00
233	2014-06-15	23:43	16,75	5,1465	-76,7392	24,17	1,7	8	151	0,03
234	2014-06-17	03: 6	43,11	4,2637	-76,837	48,21	2,5	5	156	0,04
235	2014-06-28	01: 12	9,45	4,205	-76,7288	30,17	1,3	6	140	0,08
236	2014-07-04	19: 32	46,94	4,5613	-76,596	32,57	1,7	5	168	0,04
237	2014-07-08	13: 49	36,17	5,8658	-76,9058	35,09	2,4	7	186	0,03
238	2014-07-10	05: 46	6,99	5,1815	-76,826	48,97	1,5	4	108	0,00
239	2014-07-11	20: 57	46,16	5,3312	-76,7545	53,94	1,6	4	174	0,00
240	2014-07-14	02: 24	10,71	4,0627	-76,968	16,97	1,8	8	162	0,06

241	2014-07-15	04: 22	15,04	5,494	-76,5508	59,59	1,5	7	200	0,04
242	2014-07-26	14: 8	52,44	5,2132	-77,425	38,63	2,4	5	184	0,03
243	2014-07-27	10: 32	44,92	5,5235	-77,5752	51,08	1,7	7	196	0,05
244	2014-07-28	06: 4	52,91	4,198	-76,5358	97,77	1,7	4	120	0,00
245	2014-08-06	19: 51	37,73	4,1392	-76,6462	63,29	2,6	5	183	0,04
246	2014-08-11	06: 57	37,60	5,1503	-78,0715	79,60	2,4	4	241	0,00
247	2014-08-15	13: 58	18,41	4,6712	-76,5212	31,05	1,8	4	172	0,00
248	2014-08-16	07: 24	40,30	5,2717	-76,7085	61,47	1,6	5	162	0,05
249	2014-08-20	09: 16	1,53	4,5958	-76,4943	53,20	1,3	5	144	0,02
250	2014-09-05	08: 4	28,19	5,5787	-76,6548	66,66	1,9	8	207	0,03
251	2014-09-13	01: 18	37,03	4,7348	-76,767	49,17	1,2	4	211	0,00
252	2014-09-18	04: 20	34,26	4,1743	-76,5988	79,72	1,9	5	130	0,01
253	2014-09-19	07: 40	7,27	5,8957	-76,8915	38,02	1,7	5	162	0,00
254	2014-09-23	08: 24	3,83	4,981	-76,5205	67,18	1,4	4	168	0,00
255	2014-09-23	15: 45	48,95	4,2318	-76,4578	53,87	1,4	4	117	0,00
256	2014-10-01	20: 20	23,35	4,5295	-76,5903	32,40	1,4	4	163	0,00
257	2014-10-04	04: 26	12,43	4,0192	-76,5198	62,31	1,4	6	133	0,01
258	2014-10-07	08: 33	43,19	4,709	-76,5035	32,43	1,5	6	225	0,03
259	2014-10-07	17: 33	0,10	4,4265	-76,7535	55,15	2,3	6	175	0,04
260	2014-10-10	06: 1	50,15	4,043	-76,8813	36,81	1,2	4	173	0,00
261	2014-10-12	13: 25	21,45	4,2798	-76,7715	83,96	1,6	4	151	0,00
262	2014-10-12	13: 55	53,49	4,3517	-76,587	87,91	1,9	8	206	0,04
263	2014-10-12	23: 20	29,60	4,543	-76,6933	41,38	1,1	7	156	0,03
264	2014-10-22	11: 46	17,19	5,4193	-76,906	31,50	1,7	6	172	0,03
265	2014-10-24	20: 48	31,15	4,0192	-76,8943	31,61	1,8	5	159	0,02
266	2014-10-29	05: 20	37,80	4,3797	-76,8728	51,21	1,4	5	100	0,01
267	2014-11-03	09: 37	28,95	4,8113	-76,5432	91,74	2,0	5	228	0,08
268	2014-11-04	02: 2	56,42	5,1885	-77,9865	64,46	2,2	4	234	0,00
269	2014-11-09	08: 46	27,58	4,564	-76,5317	90,03	2,0	8	196	0,07
270	2014-11-13	14: 21	13,33	4,0962	-76,674	43,84	2,1	6	166	0,04
271	2014-11-16	07: 3	49,75	4,164	-76,6382	48,89	1,9	4	136	0,00
272	2014-11-20	17: 35	41,75	4,0453	-76,9133	48,91	2,2	6	130	0,08
273	2014-11-20	18: 27	4,87	4,174	-76,8888	19,65	2,3	6	148	0,03
274	2014-11-27	03: 30	37,03	4,2783	-76,5125	56,71	1,2	5	124	0,00
275	2014-11-27	19: 21	21,92	4,037	-76,7755	104,05	1,6	7	188	0,03
276	2014-12-14	01: 10	33,43	4,083	-76,9087	52,97	1,6	4	136	0,00
277	2015-01-02	14: 24	32,45	4,543	-76,6338	28,15	1,9	5	170	0,06
278	2015-01-09	07: 5	29,21	5,674	-77,4398	57,07	3,3	4	173	0,00
279	2015-01-14	08: 54	22,24	5,6172	-76,5595	54,32	2,4	6	165	0,03
280	2015-01-16	09: 40	6,41	4,1903	-76,5655	53,48	1,7	5	125	0,01
281	2015-01-20	13: 16	51,78	4,3332	-76,7847	24,41	2,5	8	112	0,07

282	2015-01-24	01: 50	34,38	5,5412	-77,5212	40,72	1,6	4	191	0,00
283	2015-01-25	06: 11	11,02	5,8653	-76,5235	42,40	2,2	6	76	0,04
284	2015-01-26	05: 16	16,22	4,3218	-76,7727	18,62	1,9	7	157	0,02
285	2015-01-26	06: 45	26,92	4,6173	-76,6088	52,62	1,2	4	154	0,00
286	2015-01-26	11: 38	5,07	5,1822	-76,6695	53,41	1,5	4	153	0,00
287	2015-01-26	15: 0	22,03	4,135	-76,8637	22,54	1,6	5	152	0,02
288	2015-01-27	05: 33	51,87	4,6403	-76,461	89,29	2,2	9	202	0,06
289	2015-01-30	03: 18	37,54	4,4307	-76,4662	59,51	1,6	7	152	0,06
290	2015-01-30	08: 34	6,29	5,253	-77,9937	58,88	2,2	5	235	0,02
291	2015-01-31	00: 8	42,86	5,4132	-77,936	73,72	2,7	4	209	0,00
292	2015-01-31	22: 6	20,18	4,7015	-76,7147	59,40	3,0	6	120	0,06
293	2015-02-03	01: 54	8,74	5,2742	-78,0925	65,05	2,3	5	220	0,02
294	2015-02-04	05: 37	15,16	5,1147	-77,1583	66,12	1,0	4	184	0,00
295	2015-02-06	16: 55	37,63	4,1123	-76,4833	63,06	1,6	4	131	0,00
296	2015-02-07	13: 57	50,77	4,977	-77,0262	49,79	2,2	4	174	0,00
297	2015-02-11	21: 38	10,24	4,558	-76,4753	77,19	1,9	4	151	0,00
298	2015-02-13	11: 8	26,93	4,1497	-76,6028	79,51	1,7	5	149	0,00
299	2015-02-14	16: 57	20,55	5,7682	-77,9783	79,11	2,9	4	209	0,00
300	2015-02-15	22: 48	33,18	4,7897	-76,603	61,14	1,9	8	147	0,03
301	2015-02-17	09: 39	32,33	4,4052	-76,825	24,03	1,5	5	157	0,01
302	2015-02-21	20: 8	50,29	4,299	-76,8153	67,74	1,8	5	238	0,02
303	2015-02-25	21: 17	49,08	5,7875	-76,8965	48,78	2,2	6	171	0,03
304	2015-02-28	01: 31	14,71	4,3148	-76,5618	111,61	3,1	6	182	0,02
305	2015-02-28	04: 5	21,27	4,0648	-76,5757	23,61	1,5	7	155	0,04
306	2015-03-07	01: 18	41,52	5,4895	-77,3802	61,98	1,8	5	178	0,02
307	2015-03-10	09: 59	44,81	5,391	-76,5507	68,05	2,3	8	166	0,09
308	2015-03-12	23: 26	32,80	4,2992	-76,5598	51,05	1,6	4	174	0,00
309	2015-03-13	05: 50	56,32	4,1918	-76,7553	16,43	1,8	6	140	0,08
310	2015-03-13	22: 11	54,70	5,3708	-76,5682	64,02	3,1	7	129	0,01
311	2015-03-29	08: 15	44,75	4,8262	-76,525	16,73	1,6	6	161	0,12
312	2015-03-30	23: 22	53,25	5,9148	-76,8685	48,65	2,7	6	146	0,03
313	2015-04-07	14: 0	18,24	5,4717	-76,5007	97,43	4,1	10	130	0,06
314	2015-04-29	03: 59	47,55	5,7137	-76,6405	30,73	1,9	4	197	0,00
315	2015-05-09	05: 28	24,58	5,3093	-76,6142	87,55	2,4	8	137	0,03
316	2015-05-10	17: 34	13,41	4,598	-76,6238	19,29	2,1	7	127	0,01
317	2015-05-31	15: 17	22,30	4,0015	-76,8207	84,96	1,4	5	137	0,02
318	2015-06-02	05: 36	7,28	4,3532	-76,6272	77,61	1,5	5	169	0,02
319	2015-06-09	14: 47	48,92	4,0652	-76,5948	63,91	2,8	9	139	0,05
320	2015-06-09	23: 54	26,98	4,0445	-76,5795	68,75	1,9	7	137	0,09
321	2015-06-12	02: 13	43,50	4,1562	-76,663	91,45	1,5	7	199	0,03
322	2015-06-12	15: 43	33,34	4,0625	-76,522	66,22	1,3	4	159	0,00

323	2015-06-14	02: 22	40,46	4,1565	-76,7967	28,25	1,4	5	177	0,07
324	2015-06-14	05: 0	48,71	4,6162	-76,5432	84,46	2,3	5	200	0,01
325	2015-06-14	12: 45	2,14	5,681	-77,9418	78,57	1,6	4	180	0,00
326	2015-06-15	16: 49	58,08	4,4907	-76,6152	56,01	1,4	7	180	0,02
327	2015-06-17	20: 47	15,11	4,1078	-76,842	24,86	1,5	4	172	0,00
328	2015-06-19	18: 44	24,58	4,355	-76,8253	31,38	1,8	6	108	0,01
329	2015-07-10	14: 54	40,44	5,3448	-78,0397	55,00	2,6	5	239	0,02
330	2015-07-11	09: 21	12,73	4,3923	-76,6185	91,43	2,3	10	226	0,08
331	2015-07-25	16: 50	54,58	4,5767	-76,6165	31,26	1,5	4	172	0,00
332	2015-07-26	00: 25	40,23	4,4323	-76,4793	84,42	1,8	7	153	0,04
333	2015-07-31	08: 51	4,41	5,2913	-77,427	23,69	2,6	7	184	0,07
334	2015-08-01	07: 23	56,71	5,259	-77,4422	27,21	2,2	7	186	0,12
335	2015-08-11	09: 30	41,18	4,357	-76,7862	47,41	2,3	6	163	0,03
336	2015-08-13	23: 13	36,94	5,3447	-77,905	65,04	2,6	4	207	0,00
337	2015-08-14	06: 42	13,00	4,5318	-76,7302	52,21	1,6	6	244	0,05
338	2015-08-20	09: 54	38,12	5,6402	-77,9383	65,67	2,2	4	235	0,00
339	2015-08-22	07: 28	18,03	5,2287	-77,6518	48,66	1,1	4	204	0,00
340	2015-08-24	01: 37	9,34	4,1772	-76,7675	33,98	1,5	4	204	0,00
341	2015-08-27	15: 2	6,15	3,9968	-76,7645	52,26	1,5	5	155	0,00
342	2015-08-28	16: 27	11,84	4,0673	-76,7723	47,03	2,1	6	145	0,06
343	2015-08-30	15: 19	45,87	4,9392	-76,958	29,41	1,6	4	133	0,00
344	2015-09-04	06: 5	0,50	4,3257	-77,6828	60,90	1,8	7	218	0,05
345	2015-09-04	23: 14	55,40	4,0873	-76,528	65,20	1,4	5	162	0,01
346	2015-09-06	07: 48	1,00	5,8708	-77,5508	24,13	2,2	9	220	0,03
347	2015-09-08	07: 22	1,41	4,3213	-76,6432	73,15	1,5	5	191	0,06
348	2015-09-14	00: 17	7,23	4,0093	-76,5778	65,99	1,6	4	183	0,00
349	2015-09-19	06: 5	9,53	3,9847	-76,4487	36,40	1,3	4	179	0,00
350	2015-09-29	08: 37	13,24	4,7457	-76,5675	16,18	1,9	5	181	0,00
351	2015-10-03	08: 21	54,56	5,3297	-77,4137	38,80	2	5	180	0,03
352	2015-10-09	11: 9	31,21	4,9878	-76,526	49,16	1,7	5	220	0,00
353	2015-10-11	13: 27	29,77	4,513	-76,7105	17,29	2,1	6	150	0,08
354	2015-10-16	21: 51	9,08	4,7323	-76,4385	60,79	1,9	6	208	0,06
355	2015-10-17	15: 59	8,34	4,6302	-76,7935	37,50	2,0	8	224	0,05
356	2015-10-21	04: 38	43,39	4,3583	-77,8928	89,08	2,2	8	238	0,01
357	2015-10-24	09: 19	41,68	5,8272	-76,5195	94,42	1,5	5	200	0,02
358	2015-10-28	00: 44	52,13	4,3417	-76,8037	54,08	1,7	8	212	0,04
359	2015-11-05	12: 23	46,02	5,3142	-76,5125	62,68	1,9	5	228	0,05
360	2015-11-08	23: 28	15,46	5,4283	-76,756	39,85	2,3	6	121	0,04
361	2015-11-14	00: 9	33,57	5,6117	-77,7923	62,39	2,0	7	215	0,03
362	2015-11-17	23: 1	10,33	4,1903	-76,6412	93,58	2,1	9	201	0,05
363	2015-12-03	00: 39	14,35	4,6102	-76,7225	41,63	1,7	6	122	0,04

364	2015-12-06	23: 37	4,07	4,6893	-76,5103	74,05	1,3	6	216	0,03
365	2015-12-12	02: 2	55,37	5,5592	-77,6802	64,04	1,9	6	219	0,05
366	2015-12-12	08: 37	2,14	4,164	-76,655	97,24	1,9	8	199	0,05
367	2015-12-13	17: 40	38,95	4,464	-76,6755	80,54	2,0	6	238	0,05
368	2015-12-17	05: 7	20,14	4,9382	-76,44	83,81	1,4	4	212	0,00
369	2015-12-17	16: 41	9,39	5,1818	-77,0278	50,34	2,8	6	147	0,07
370	2015-12-23	17: 34	53,95	4,1303	-76,8442	62,59	2,3	7	221	0,06
371	2015-12-28	13: 50	6,93	4,112	-76,6797	98,92	2,8	8	126	0,06
372	2015-12-30	05: 56	47,57	4,2737	-76,819	33,83	1,8	6	212	0,04
373	2016-01-01	04: 14	24,36	4,9335	-76,3963	83,63	1,4	5	207	0,03
374	2016-01-02	10: 44	6,68	4,2737	-76,5693	91,15	1,9	6	168	0,04
375	2016-01-13	09: 53	30,30	4,2533	-76,839	30,45	2,0	9	213	0,06
376	2016-01-14	15: 47	19,53	5,8877	-76,581	21,40	1,8	6	154	0,01
377	2016-01-15	08: 14	35,45	5,6213	-77,6835	65,01	2,1	5	203	0,02
378	2016-01-29	11: 47	11,29	4,9398	-76,5235	72,76	1,3	4	220	0,00
379	2016-01-30	00: 47	30,69	4,7375	-76,626	69,57	2,3	7	188	0,00
380	2016-01-31	02: 22	36,39	4,3028	-76,6627	93,95	1,8	8	201	0,03
381	2016-02-04	16: 12	57,43	5,9967	-76,9438	54,37	2,3	9	144	0,03
382	2016-02-07	15: 46	37,47	4,9415	-76,5037	75,04	1,6	7	218	0,04
383	2016-02-15	20: 36	18,33	4,484	-76,736	35,47	2,0	8	218	0,05
384	2016-02-29	23: 4	3,43	5,5215	-76,5897	59,60	1,3	6	154	0,02
385	2016-03-09	01: 58	46,94	4,411	-76,4837	88,91	1,4	6	195	0,06
386	2016-03-19	23: 19	13,63	5,1382	-77,708	62,25	2,6	7	238	0,01
387	2016-03-25	11: 10	46,50	5,163	-76,4512	40,72	1,7	5	251	0,04
388	2016-03-27	08: 19	7,88	4,238	-76,6108	96,49	1,6	6	205	0,03
389	2016-04-07	19: 39	49,63	4,1428	-76,6217	77,60	2,1	4	202	0,00
390	2016-04-14	19: 43	30,47	4,6148	-76,5173	91,45	2,6	8	128	0,06
391	2016-04-27	06: 25	37,83	4,0755	-76,6748	49,41	1,8	4	141	0,00
392	2016-05-01	09: 46	5,56	4,5843	-76,616	28,10	1,6	4	173	0,00
393	2016-05-04	04: 14	24,67	4,7315	-76,6322	27,31	1,7	5	136	0,01
394	2016-05-07	5: 58	25,78	4,2023	-76,7443	48,54	2,3	8	130	0,03
395	2016-05-14	01: 37	13,63	4,7195	-76,4123	86,17	2,1	7	205	0,06
396	2016-05-20	23: 10	41,95	5,068	-76,5512	63,38	2,0	6	132	0,04
397	2016-05-23	03: 51	18,37	5,5707	-77,8988	68,51	2,9	5	250	0,02
398	2016-05-25	22: 17	56,38	5,861	-77,4458	64,94	3,1	5	182	0,04